

**BIODEGRADASI LIMBAH CAIR BATIK SECARA AEROBIK
DAN ANAEROBIK (STUDI KASUS DI UKM “BATIK
BLIMBING” MALANG)**

SKRIPSI

**Oleh:
Martasari Beti Pangestuti
NIM 145100300111048**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik



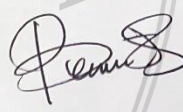
**JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul/TA : Biodegradasi Limbah Cair Batik secara Aerobik dan Anaerobik (Studi Kasus di UKM "Batik Blimbing" Malang)
 Nama Mahasiswa : Murtasari Bati Pangestuti
 NIM : 145100300111048
 Jurusan : Teknologi Industri Pertanian
 Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,

Pembimbing Kedua,

Sri Suhartini, STP, M.Env.Mgt. PhD

Beauty S. D. Dewanti, ST. MT.

NIP. 19810526 200312 2 001

NIK. 201304 831202 2 001

Tanggal Persetujuan:

Tanggal Persetujuan:

LEMBAR PENGESAHAN

Judul TA : Biodegradasi Limbah Cair Batik secara Aerobik dan Anaerobik (Studi Kasus di UKM "Batik Blimbing" Malang)

Nama Mahasiswa : Martasari Beti Pangestuti

NIM : 145100300111048

Jurusan : Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Fakultas Teknologi Pertanian

Dosen Penguji I,

Dr. Ir. Nur Hidayat, MP.

NIP. 19610223 198701 1 001

Dosen Penguji II,

Sri Suhartini, STP, M.Env.Mgt. PhD

NIP. 198100526 200312 2 001

Dosen Penguji III,

Beauty S. D. Dewanti, ST. MT.

NIK. 201304 831202 2 001

Ketua Jurusan,



Dr. Sucipto, STP, MP

NIP. 19730602 199903 1 001

Tanggal Lulus TA:

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Martasari Beti Pangestuti, dilahirkan di Mojokerto pada tanggal 29 Maret 1995, dari ayah bernama Subiyanto dan ibu bernama Sutamah. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Petak Mojokerto (2002-2008), pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Pacet Mojokerto (2008-2011) dan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Mojosari, Mojokerto (2011-2014). Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Program Sarjana di perguruan tinggi.

Pada tahun 2014 penulis diterima di Universitas Brawijaya Malang, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian melalui jalur tes Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Pada tahun 2018 penulis telah dinyatakan lulus dan berhasil menyelesaikan pendidikan Program Sarjana.

Selama masa pendidikan, penulis aktif sebagai asisten praktikum dibeberapa mata kuliah yaitu menjadi Asisten Praktikum Kimia Dasar Fakultas Teknologi Pertanian tahun 2015, Asisten Mikrobiologi Umum jurusan TIP tahun 2016, Asisten Dasar Pemrograman jurusan TIP tahun 2016, Asisten Perancangan Kerja dan Ergonomi jurusan TIP tahun 2017. Penulis juga aktif dalam kegiatan kepanitiaan Dies-Natalis FTP 17 dalam anggota sie konsumsi. Penulis juga pernah mendapatkan *Civa Awards* pada Dies-Natalis FTP ke-19 tahun 2017 dengan kategori Mahasiswa Berprestasi TIP 2014.



Alhamdulillah hirabbil'alamin

Berkat rahmat dan ridho Allah SWT,

saya dapat menyelesaikan karya tulis ini.

Karya ini saya persembahkan untuk kedua orang tua, kakak,

keluarga dan sahabat-sahabat saya yang memberikan

dukungan selama ini.

Semoga ilmu dan karya ini menjadi bermanfaat.

Aamiin....

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Martasari Beti Pangestuti
NIM : 145100300111048
Jurusan : Teknologi Industri Pertanian
Fakultas : Teknologi Pertanian
Judul Tugas Akhir : Biodegradasi Limbah Cair Batik Secara Aerobik dan Anaerobik (Studi Kasus di UKM “Batik Blimbing” Malang)

Menyatakan bahwa,
Tugas Akhir dengan judul diatas merupakan karya asli penulis. Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan tersebut tidak benar, saya bersedia dituntut sesuai aturan hukum yang berlaku.

Malang, 21 Agustus 2018
Pembuat Pernyataan,

Martasari Beti Pangestuti
NIM. 145100300111048

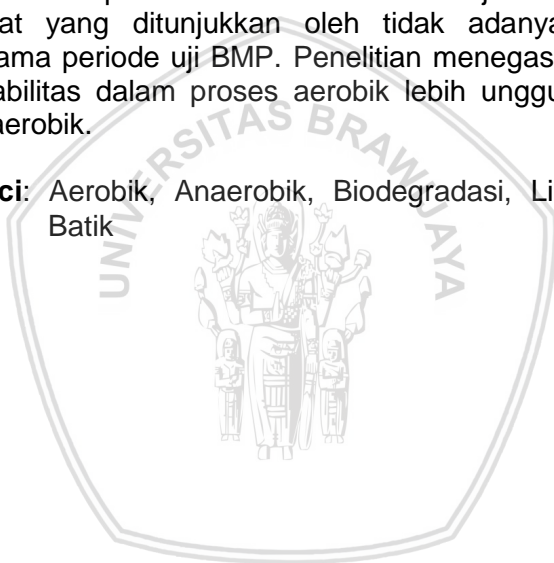
Martasari Beti Pangestuti. 145100300111048. Biodegradasi Limbah Cair Batik secara Aerobik dan Anaerobik (Studi Kasus di UKM “Batik Blimbing” Malang). TA. Pembimbing: Sri Suhartini, STP. M.Env. Mgt. PhD dan Beauty Suestining Diyah Dewanti, ST. MT.

RINGKASAN

Batik merupakan bagian dari budaya dan warisan Indonesia, dikenal luas secara nasional dan internasional. Banyak orang Indonesia mengenakan pakaian batik baik dalam acara formal maupun non-formal. Oleh karena itu, permintaan pasar global dari pakaian batik semakin meningkat dan dipenuhi oleh usaha kecil dan menengah (UKM). Hal ini juga ditunjukkan oleh peningkatan UKM batik dari 41.623 unit pada tahun 2011 menjadi 47.755 unit pada tahun 2015. Diperkirakan masing-masing UKM menghasilkan limbah cair batik sekitar 15-20 liter/hari. Namun, banyak UKM tidak memiliki fasilitas pengolahan air limbah yang tepat, sehingga membuang air limbah langsung ke lingkungan. Hal ini disebabkan oleh kurangnya pendanaan, keterampilan dan pengetahuan teknologi. UKM “Batik Blimbing” Malang juga memiliki masalah serupa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik limbah cair batik di UKM “Batik Blimbing” Malang dan biodegradabilitas pada proses aerobik dan anaerobik. *Closed bottle test* digunakan untuk uji biodegradasi aerobik dan *Biochemical Methane Potential* (BMP) untuk biodegradasi anaerobik. Semua percobaan dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari lima penambahan volume limbah cair batik yang berbeda (1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml, dan 5 ml). Pada proses aerobik, setiap volume limbah cair batik ditambahkan dengan 0,5 ml inokulum dan ditambahkan dengan medium mineral hingga 100 ml. Sementara, pada proses anaerobik, setiap volume ditambahkan dengan *digestate* hingga 40 ml. Semua percobaan dilakukan dalam rangkap tiga.

Berdasarkan uji karakteristik, hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah cair batik dari UKM "Batik Blimbing" masih mengandung BOD (8651 mg/L), COD (54700 mg/L), TSS (1483 mg/L), fenol (0,616 mg/L), minyak dan lemak (4,2 mg/L) yang tinggi. Nilai-nilai ini melebihi nilai standar Pemerintah Jawa Timur untuk pembuangan limbah cair tekstil. Hasil proses aerobik menunjukkan bahwa konsentrasi BOD dapat dikurangi hingga 78-86%. Jika dibandingkan dengan perhitungan teoritis nilai persentase biodegradasi dari konsentrasi BOD/COD (yaitu 15,8%), proses aerobik mampu menghilangkan BOD sebesar 12-13%. Hasil proses anaerobik menunjukkan adanya penghambat yang ditunjukkan oleh tidak adanya produksi biogas selama periode uji BMP. Penelitian menegaskan bahwa biodegradabilitas dalam proses aerobik lebih unggul daripada proses anaerobik.

Kata Kunci: Aerobik, Anaerobik, Biodegradasi, Limbah Cair Batik



Martasari Beti Pangestuti. 145100300111048. *Aerobic and Anaerobic Biodegradation of Batik Wastewater (A Case Study in "Batik Blimbing" Malang SMEs)*. Advisor: Sri Suhartini, STP. M.Env. Mgt. PhD dan Beauty Suestining Diyah Dewanti, ST. MT.

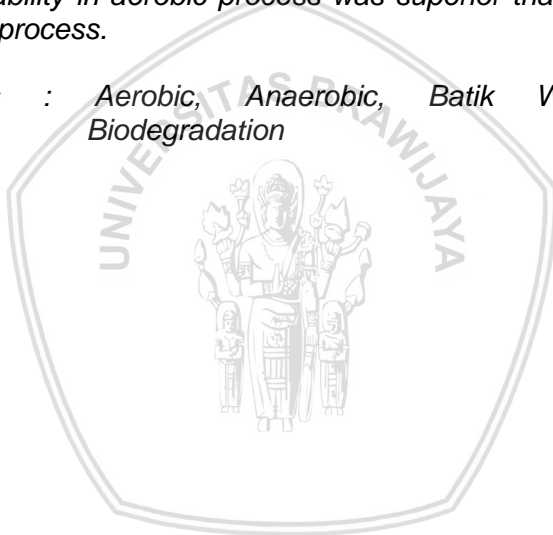
SUMMARY

Batik, as part of Indonesian culture and heritage, is widely known national and internationally. Many Indonesian wear batik clothes either in formal or non-formal occasion. Therefore, the global market of batik clothes is increasing, and mainly fulfilled by the batik-producing community and batik small and medium enterprises (SMEs). This is also indicated by the increase of batik SMEs from 41,623 SMEs in 2011 to 47,755 SMEs in 2015. It is predicted that each SME generates approximately 15-20 liters/day of batik wastewater. However, many SMEs have no proper wastewater treatment plant and dispose the wastewater directly to nearby environment. Such practices were due to lack of funding, lack of skill and lack of technological knowledge. Batik Blimbing" Malang SMEs also has the similar problems. This study aimed at investigating the characteristics of batik wastewater in "Batik Blimbing" Malang SMEs and its biodegradability under aerobic and anaerobic process. Closed bottle test was employed for aerobic biodegradation and Biochemical Methane Potential (BMP) test for anaerobic biodegradation. All experiments were designed using a completely randomized design (CRD) composed of five different volume of batik wastewater (1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml, and 5 ml). In aerobic process, each volume of batik wastewater was added with 0.5 ml inoculum and make up with mineral medium to 100 ml. While, in anaerobic process, each volume was then added with digestate up to 40 ml. All experiments were carried out in triplicate.

Based on the characterisation study, the results indicated that batik wastewater from "Batik Blimbing" SMEs still contains high amount of BOD (8651 mg/L), COD (54700 mg/L),

TSS (1483 mg/L), phenol (0.616 mg/L), oil and fat (4.2 mg/L). These values exceeded the standard value of East Java Government for textile wastewater discharge. The results also indicated that in aerobic process, the BOD concentration can be reduced by 78-86%. However, when compared with the theoretical calculation of the highest calculation of biodegradation percentage values from BOD/COD concentration (i.e. 15.8%), the aerobic process was able to remove BOD by 12-13%. While, anaerobic digestion process indicating an inhibition was occurred as shown by no biogas production through out BMP test period. The findings confirmed that the biodegradability in aerobic process was superior than that of in anaerobic process.

Keywords : Aerobic, Anaerobic, Batik Wastewater, Biodegradation



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang selalu memberikan kelancaran, kemudahan, dan berkah sehingga penulis dapat menyusun laporan Tugas Akhir yang berjudul “Biodegradasi Limbah Cair Batik secara Aerobik dan Aerobik (Studi Kasus di UKM “Batik Blimbing” Malang. Penulis tidak lupa menyampaikan terimakasih kepada:

1. Ibu Sutamah dan Bapak Subiyanto yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan demi kelancaran penulisan tugas akhir.
2. Dosen pembimbing I, bu Sri Suhartini, STP. M.Env.Mgt. PhD yang telah membimbing dan memberikan koreksi, masukan dan pengarahan untuk penulisan laporan serta memberikan motivasi kepada penulis.
3. Dosen pembimbing II, bu Beauty Suestining Diyah Dewanti, ST. MT yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, koreksi serta motivasi.
4. Dosen penguji, Dr. Ir. Nur Hidayat, MP yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir.
5. Laboran Laboratorium Bioindustri, Bu Yuli Erna Widyasari yang telah memberikan masukan dan dukungan.
6. Bapak Catur yang telah memberikan izin dalam pengambilan inokulum di Balai Besar Pelatihan Peternakan Batu, dan kepada pak Agus Gunarto serta Pak No yang telah memberikan izin di MCK Tlogomas.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknologi Industri Pertanian yang telah memberikan bekal dalam penulisan tugas akhir.
8. Kakak saya, Teguh Prayogo Suyanto dan mbak Fenty Dwi Septianingrum yang telah memberikan doa dan semangat dalam penyelesaian.
9. Muhamad Andi Septiawan yang selalu memberikan saran, arahan, koreksi, motivasi, bantuan, dukungan demi kelancaran dan penyelesaian penulisan tugas akhir ini.
10. Sahabat saya, Selvi, Fitri, Adam, Ervi yang telah memberikan doa dan dukungan serta hiburan.

11. Teman-teman tim tugas akhir, Yayuk, Farid, Sani, Trisil, Arta, Risma, Hanah, Fena, Habibatun, Ismi, Amalina yang telah memberikan semangat dan bantuan.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih belum sempurna. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan banyak manfaat kepada semua pihak yang memerlukannya.

Malang, 21 Agustus 2018

Martasari Beti Pangestuti



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
HALAMAN RIWAYAT HIDUP	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Industri Batik	5
2.1.1 UKM “Batik Blimbing” Malang	5
2.2 Limbah Cair Batik	6
2.3 Karakteristik Limbah Cair Batik	8
2.3.1 Karakteristik Fisik	10
2.3.2 Karakteristik Kimia	11
2.3.2.1 Biochemical Oxygen Demand (BOD)	11
2.3.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)	12
2.3.2.3 Total Suspended Solids (TSS)	12
2.3.2.4 Dissolved Oxygen (DO)	13
2.3.3 Karakteristik Biologis	13
2.4 Biodegradasi	14
2.4.1 Aerobik	14
2.4.1.1 <i>Closed Bottle Test</i>	15
2.4.2 Anaerobik	16
2.4.2.1 <i>Biochemical Methane Potential (BMP)</i>	17
2.4.3 Perbedaan Pengolahan Aerobik dan Anaerobik	18

2.5 Penelitian Terdahulu	19
2.6 Hipotesis	20
III. METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.2.1 Aerobik	21
3.2.2 Anaerobik	21
3.3 Batasan Masalah	21
3.4 Prosedur Penelitian	22
3.4.1 Metode Pengambilan Sampel	23
3.4.2 Penelitian Pendahuluan	23
3.4.3 Penentuan Rancangan Percobaan	24
3.4.4 Metode Penelitian Utama	25
3.4.4.1 Uji Karakteristik	25
3.4.4.2 Biodegradasi Aerobik	25
3.4.4.3 Biodegradasi Anaerobik	28
3.4.5 Analisa Data	29
3.4.5.1 Uji Karakteristik Limbah Cair Batik	29
3.4.5.2 Biodegradasi Aerobik	29
3.4.5.3 Biodegradasi Anaerobik	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Karakteristik Limbah Cair Batik	33
4.2 Biodegradasi Aerobik	35
4.3 Biodegradasi Anaerobik	37
4.3.1 Kondisi Akhir Uji BMP	37
4.3.2 Produksi Biogas	39
V. PENUTUP	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kegiatan Pembatikan.....	7
Tabel 2.2 Baku Muku Air Limbah untuk Industri Tekstil.....	9
Tabel 2.3 Kandungan Limbah Cair Batik	9
Tabel 2.4 Tabel Perbandingan Pengolahan Aerobik dan Anaerobik.....	18
Tabel 3.1 Rancangan Percobaan Proses Aerobik	24
Tabel 3.2 Rancangan Percobaan Proses Anaerobik	25
Tabel 4.1 Hasil Uji Karakteristik Limbah Cair Batik	33
Tabel 4.2 Nilai pH Awal dan Akhir dari Sampel Uji	38
Tabel 4.3 Hasil pengukuran kadar air, TS, kadar abu, VS	39



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tahapan Proses <i>Anaerobic Digestion</i>	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian	22
Gambar 4.1 Grafik Hasil Rata-Rata Pengukuran DO	35
Gambar 4.2 Grafik Hasil Penghitungan BOD	36
Gambar 4.3 Grafik Hasil Penghitungan Persentase Biodegradasi	37
Gambar 4.4a Grafik Produksi Biogas Kumulatif (ml).....	40
Gambar 4.4b Grafik <i>Net Biogas Production</i> (ml).....	40



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Langkah-Langkah Pengujian Karakteristik Limbah Cair Batik	54
Lampiran 2. Diagram Alir Pembuatan Larutan A	61
Lampiran 3. Diagram Alir Pembuatan Larutan B	62
Lampiran 4. Diagram Alir Pembuatan Larutan C	63
Lampiran 5. Diagram Alir Pembuatan Larutan D	64
Lampiran 6. Diagram Alir Pembuatan Mineral Medium	65
Lampiran 7. Diagram alir pembuatan sampel uji untuk <i>closed bottle test</i>	66
Lampiran 8. Diagram Alir Persiapan Inokulum	67
Lampiran 9. Diagram Alir Uji BMP	68
Lampiran 10. Pengukuran kadar air, TS, kadar abu dan VS .	69
Lampiran 11. Hasil Pengukuran DO.....	71
Lampiran 12. Hasil Penghitungan BOD	73
Lampiran 13. Hasil Penghitungan Persentase Biodegradasi.	74
Lampiran 14. Hasil Pengukuran Tekanan Gas (Kpa)	75
Lampiran 15. Hasil Penghitungan Volume Biogas Kumulatif	77
Lampiran 16. Hasil Penghitungan <i>Net Biogas Production</i>	78
Lampiran 17. Dokumentasi Penelitian.....	79

**BIODEGRADASI LIMBAH CAIR BATIK SECARA AEROBIK
DAN ANAEROBIK (STUDI KASUS DI UKM “BATIK
BLIMBING” MALANG)**

SKRIPSI

**Oleh:
Martasari Beti Pangestuti
NIM 145100300111048**



**JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batik merupakan bagian dari budaya dan warisan Indonesia yang dikenal luas secara nasional maupun internasional. Banyak orang Indonesia mengenakan pakaian batik untuk acara formal maupun non-formal. Oleh karena itu, minat dan permintaan terhadap batik terus mengalami peningkatan. Menurut Hartati dkk. (2011), jumlah konsumen batik pada tahun 2010 telah mencapai 72,86 juta orang. Tingginya permintaan konsumen menyebabkan bertambahnya jumlah industri batik di Indonesia. Batik di Indonesia pada umumnya diproduksi oleh usaha kecil menengah (UKM). Berdasarkan Hardyanti dkk. (2017), jumlah UKM batik pada tahun 2011 yaitu sebanyak 41.623 unit dan meningkat hingga 14,7% pada tahun 2015 menjadi 47.755 unit. Perkembangan industri batik juga dapat dilihat dari data Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (2016), perkembangan nilai produksi industri batik di Indonesia pada tahun 2012 yaitu sebesar 9,86 miliar rupiah dan pada tahun 2013 mengalami peningkatan menjadi 1,12 triliun rupiah.

Seiring dengan peningkatan industri batik di Indonesia, maka jumlah limbah cair batik yang meningkat juga perlu diperhatikan. Pada industri batik skala kecil berpotensi dapat menghasilkan limbah cair sebanyak 15-20 liter/ hari yang berasal dari proses pencelupan dan pencucian (Nurroisah dkk., 2014). Menurut Sumarko dkk. (2013), nilai BOD pada limbah cair batik dilaporkan mencapai 1099,22 mg/L dan COD berkisar 1310 mg/L. Kadar tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang baku mutu limbah cair tekstil yang hanya membatasi kadar BOD sebesar 60 mg/L dan COD 150 mg/L (Pusat Data Lingkungan, 2014).

Selama ini, UKM batik belum mempunyai fasilitas pengolahan limbah yang memadai. Banyak UKM batik yang membuang limbahnya langsung ke lingkungan (Natalina dan Firdaus, 2017), termasuk UKM "Batik Blimbing" Malang yang juga membuang langsung limbah cairnya ke lingkungan.

Pembuangan limbah cair batik tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menimbulkan dampak negatif, seperti timbulnya bau busuk pada perairan (Sumarko dkk., 2013), menyebabkan penurunan kandungan *Dissolved Oxygen* (DO), meningkatkan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solid* (TSS) dalam air limbah (Kurniawan dkk., 2013).

Beberapa penelitian tentang penguraian dan penurunan kadar COD, BOD, TSS dan logam berat dari limbah cair batik telah dilakukan baik secara pengolahan fisika, kimia maupun biologi (Sumarko dkk., 2013). Namun, menurut Chan *et al.* (2009), pengolahan secara biologi mempunyai beberapa keuntungan yaitu biaya yang rendah dan jika dilakukan analisis serta pengendalian lingkungan yang tepat maka akan menghasilkan konstituen *biodegradable* dengan rasio BOD/COD $\geq 0,5$ yang dapat diolah dengan mudah pada hampir semua air limbah. Begitu juga menurut Citrapancayudha dan Soetarto (2016), pengolahan secara biologi dianggap efektif karena ramah lingkungan, tidak menimbulkan *secondary pollutant*, dan biaya relatif lebih murah dibandingkan dengan metode fisika maupun kimia.

Pengolahan secara biologi dapat dilakukan secara aerob maupun anaerob. Berdasarkan Chan *et al.* (2009), sistem aerobik cocok digunakan untuk pengolahan limbah cair yang mempunyai konsentrasi COD < 1000 mg/L, sedangkan sistem anaerobik untuk > 4000 mg/L. Dibandingkan dengan sistem anaerobik, sistem aerobik dapat menghasilkan biomassa yang berfluktuasi dengan baik sehingga menyebabkan konsentrasi TSS yang lebih rendah. Sistem aerobik pada umumnya menghasilkan kualitas efluen yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem anaerobik. Selain itu pada penelitian Sianita dan Nurchayati (2009), menyebutkan bahwa pengolahan limbah secara aerob memerlukan waktu yang singkat dibandingkan dengan pengolahan secara anaerob. Limbah cair batik yang diolah secara aerob dapat menurunkan kadar COD hingga 76,59%. Sedangkan secara anaerob, kadar COD turun 69,43%.

Pada penelitian ini digunakan sistem biodegradasi secara aerobik dengan *closed bottle test* dan secara anaerobik

menggunakan tes *biochemical methane potential* (BMP). *Closed bottle test* dipilih karena akan dilakukan pengukuran konsumsi oksigen oleh mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik limbah cair batik. Tes ini mempunyai kelebihan yaitu mudah dianalisis dan hanya memerlukan biaya yang relatif rendah (Filisofia, 2011). Proses anaerobik dipilih tes BMP karena pengujiannya membutuhkan alat yang sederhana untuk memonitor biodegradabilitas substrat, serta dapat menunjukkan produksi gas metana dari pengolahan limbah (Syafila dkk., 2007). *Closed bottle test* dan *biochemical methane potential* (BMP) akan digunakan dalam biodegradasi limbah cair batik agar memenuhi Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang baku mutu air limbah bagi industri dan atau kegiatan usaha lainnya, serta dapat mengukur potensi biogas yang dihasilkan dari proses anaerobik.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik limbah cair batik di UKM “Batik Blimbing” Malang?
2. Bagaimana biodegradabilitas limbah cair batik secara aerobik untuk meningkatkan kualitas effluen ?
3. Bagaimana biodegradabilitas limbah cair batik secara anaerobik untuk produksi biogas ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Mendapatkan karakteristik limbah cair batik di UKM “Batik Blimbing” Malang.
2. Mendapatkan biodegradabilitas limbah cair batik secara aerobik untuk meningkatkan kualitas effluen.
3. Mendapatkan biodegradabilitas limbah cair batik secara anaerobik untuk produksi biogas.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan data dasar untuk dilakukan penelitian pengembangan dalam pengolahan limbah cair batik.
2. Meningkatkan kualitas efluen limbah cair batik.
3. Memberikan informasi potensi produksi biogas dari limbah cair batik.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Batik

Batik merupakan salah satu kekayaan budaya Indonesia yang telah mendapat pengakuan internasional dari UNESCO pada tanggal 2 Oktober 2009. Kementerian Perindustrian menyatakan bahwa industri batik dalam negeri kini produksinya meningkat setiap tahun. Pada tahun 2010 nilai produksi industri batik mencapai 732,67 miliar atau naik 13% dari periode sebelumnya. Data Kementerian Perindustrian menunjukkan jumlah unit usaha batik selama lima tahun sejak 2011-2015 tumbuh hingga 14,7% dari 41.623 unit menjadi 47.755 unit. Nilai batik yang tinggi terlihat dari ekspor batik yang naik hingga 10% dari tahun sebelumnya, pada tahun 2015 mencapai USD 156 juta atau setara dengan 2,1 triliun rupiah (Hardyanti dkk., 2017). Sentra produksi batik di Indonesia yaitu tertinggi di provinsi Jawa Tengah pada Kabupaten Pekalongan, Kota Pekalongan, Kota Surakarta, dan Kabupaten Sragen. Semakin meningkatnya permintaan dan kebutuhan pasar dalam maupun luar negeri maka menyebabkan industri batik mengalami perkembangan yang pesat (Nurdalia, 2006).

Industri batik di Indonesia umumnya merupakan industri kecil menengah (UKM). Industri batik di Indonesia tersebar di beberapa daerah pulau Jawa yang kemudian menjadi nama dari jenis-jenis batik tersebut (Nurainun dkk., 2008). Pada dasarnya proses pembuatan batik terdiri dari proses pemalaman, pewarnaan dan pelorodan. Pemalaman adalah proses penempelan malam sebagai bahan utama ke kain mori. Selanjutnya yaitu pemberian warna sehingga pada tempat yang terbuka menjadi berwarna, sedangkan tempat yang ditutup lilin tidak terkena pewarna. Pelorodan adalah proses penghilangan lilin malam yang menempel pada kain mori (Suprihatin, 2014):

2.1.1 UKM “Batik Blimbing” Malang

UKM “Batik Blimbing” Malang berdiri sejak tahun 2009. UKM “Batik Blimbing” Malang adalah UKM yang memproduksi kain batik tulis kontemporer yang memasukan identitas budaya Malang seperti motif singa, apel maupun topeng malangan serta

membuat motif potongan buah belimbing. Pembuatan kain batik juga memasukan warna identitas Malang yaitu warna biru. Lokasi industri terletak di Jalan Candi Jago No. 6 Malang, Jawa Timur. Selain memproduksi kain batik, UKM “Batik Blimbing” juga melayani pelatihan membuat batik tulis untuk perseorangan maupun kelompok serta menyediakan alat dan bahan-bahan batik (Wardani, 2017).

2.2 Limbah Cair Batik

Limbah cair merupakan cairan yang dihasilkan dari proses produksi. Limbah cair ini umumnya akan dikumpulkan terlebih dahulu kemudian akan mengalami proses pengolahan ataupun kadangkala langsung dibuang ke perairan atau lingkungan. Pembuangan limbah cair langsung ke lingkungan akan sangat membahayakan karena kemungkinan adanya bahan-bahan berbahaya dan beracun ataupun kandungan limbah yang ada tidak mampu dicerna oleh mikroorganisme yang ada di lingkungan (Hidayat, 2016). Kegiatan-kegiatan yang berpotensi sebagai penghasil limbah cair antara lain kegiatan industri, rumah tangga, peternakan, dan pertanian. Saat ini, kegiatan rumah tangga mendominasi jumlah limbah cair dengan presentase sekitar 40% dan diikuti oleh limbah industri (30%) dan sisanya yaitu limbah rumah sakit, pertanian, peternakan atau limbah lainnya. Komponen utama limbah cair adalah air (99%), sisanya yaitu bahan padat yang bergantung pada asal buangan tersebut. Tidak semua limbah cair dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku penghasil biogas, hanya limbah cair organik yang bisa digunakan (Hambali dkk., 2008).

Pada proses produksi kain batik, industri ini menghasilkan limbah cair yang jumlahnya mencapai 80% dari seluruh jumlah air yang digunakan dalam proses pembatikan. Kandungan limbah cair industri batik dapat berupa zat organik, zat padat tersuspensi, fenol, kromium (Cr), minyak lemak dan warna. Beberapa jenis zat warna yang berasal dari proses pencucian kain batik juga mengandung logam berat (Puspita dkk., 2011). Menurut Sulaeman (2004) dalam Nurdalia (2006), proses produksi batik terbagi menjadi 5 jenis kegiatan yang dapat menimbulkan limbah yang bermacam dari setiap jenis

kegiatannya. Limbah cair dapat dihasilkan dari proses pendahuluan, pewarnaan, pelepasan lilin batik dan penyempurnaan. Rincian limbah yang dihasilkan dari kegiatan pembatikan dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Kegiatan Pembatikan

No	Proses	Kegiatan	Limbah yang dihasilkan
1.	Pendahuluan	Pemotongan mori, pengetelan, pemolaan dan ngemplong	Mori sobekan, limbah cair sisa larutan pengetelan yang mengandung antara lain soda abu, minyak kacang, deterjen, serta limbah cair cucian
2.	Pembatikan	Pembatikan tulis atau cap	Tetes dan uap lilin batik
3.	Pewarnaan	Pewarnaan coletan atau celupan	Limbah cair warna yang mengandung zat warna batik seperti : zat warna reaktif, indigosol, naphtol, rapid, indanthren serta bahan kimia seperti soda abu, kostik soda, surfaktan, waterglass, natrium nitrit, asam klorida, natrium hidrosulfit, dan limbah cair cucian
4.	Pelepasan lilin batik	Pelepasan lilin lorodan atau kerokan	Limbah padat lilin batik dan limbah cair cucian
5.	Penyempurnaan	Memberikan tambahan kualitas, seperti pegangan yang lembut, lebih tahan luntur dan penganjian	Limbah cair sisa larutan penyempurnaan

Sumber: Nurdalia (2006)

2.3 Karakteristik Limbah Cair Batik

Industri batik merupakan industri penghasil limbah cair yang sangat besar dan kompleks karena proses produksinya menghasilkan bermacam-macam air limbah. Limbah cair pada industri batik dapat dengan mudah dikenal karena warnanya yang berasal dari bahan pewarna yang digunakan pada proses pembuatan batik (Sumantri dkk., 1998). Pewarna yang biasa digunakan dalam pembuatan batik yaitu pewarna sintesis seperti naphthol, indigosol dan rapid (Hadaf dkk., 2016) serta remazol (Susanto, 2017). Salah satu contoh zat warna yang banyak digunakan adalah remazol *black*, *red* dan *golden yellow*. Pada proses pewarnaan, senyawa ini hanya digunakan sekitar 5% sedangkan sisanya sebesar 95% akan dibuang sebagai limbah. Senyawa ini sangat sulit untuk terdegradasi karena cukup stabil, sehingga berbahaya bagi lingkungan apalagi jika digunakan dalam konsentrasi tinggi, akibatnya akan menaikkan kandungan COD dalam air limbah (Suprihatin, 2014).

Limbah cair batik mempunyai ciri-ciri berwarna keruh, berbusa, pH tinggi, konsentrasi BOD tinggi, kandungan lemak alkali dan zat warna yang didalamnya terdapat kandungan logam berat. Senyawa logam berat yang bersifat toksik yang terdapat pada buangan industri batik diduga yaitu krom (Cr), timbal (Pb), nikel (Ni), tembaga (Cu) dan mangan (Mn) (Natalina dan Firdaus, 2017). Menurut Sumarko dkk. (2013), nilai BOD pada limbah cair tekstil dan termasuk batik dilaporkan mencapai 1099,22 mg/L dan COD berkisar 1310 mg/L. Kadar tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan pada peraturan daerah yaitu Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang baku mutu limbah cair tekstil yang juga mencakup limbah cair batik. Adapun kadar maksimum dari parameter-parameter untuk industri tekstil yang juga mencakup industri batik dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Baku Muku Air Limbah untuk Industri Tekstil

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
pH	6 - 9
BOD ₅	60
COD	150
TSS	50
Fenol Total	0,5
Krom Total (Cr)	1,0
Amoniak Total (NH ₃ -N)	8
Sulfida (sebagai S)	0,3
Minyak dan Lemak	3,0

Sumber: Pusat Data Lingkungan (2014)

Pengetahuan tentang karakteristik limbah cair menjadi sangat penting dalam upaya mengurangi bahaya terhadap lingkungan. Pengetahuan ini bermanfaat untuk melakukan proses pengolahan dengan baik dan benar. Karakteristik limbah umumnya dikelompokkan dalam karakteristik fisik yang mencakup suhu, warna, bau dan kekeruhan, karakteristik kimia mencakup BOD, COD, kesadahan, pH dan sebagainya serta karakteristik biologis yang merupakan ragam organisme pada limbah (Hidayat, 2016). Adapun kandungan limbah batik menurut Hardyanti dkk. (2017) dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Kandungan Limbah Cair Batik

Parameter	Standar (mg/L)	Limbah Industri (mg/L)
pH	6 – 9	6
COD	150	4230
Amoniak Total	8	5,47
Fenol Total	0,5	535
Total Suspended Solids (TSS)	50	535
Sulfida	0,3	0,040
Crom	1	0,1385
Besi	-	2,0587
Tembaga	-	0,2696
Seng	-	54,7175
Kadmium	-	0,00063
Timbal	-	0,2349

Sumber: Hardyanti dkk. (2017)

2.3.1 Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik pada limbah cair yaitu mencakup suhu, warna, bau dan kekeruhan (Hidayat, 2016). Limbah cair batik mempunyai ciri-ciri berwarna keruh yang berasal dari bahan pewarna yang digunakan (Natalina dan Firdaus, 2017). Warna timbul karena suatu bahan terlarut atau tersuspensi dalam air, selain adanya bahan pewarna tertentu yang kemungkinan mengandung logam berat (Arief, 2016). Air limbah biasanya berwarna abu-abu kecoklatan. Namun, biasanya lebih berwarna abu-abu dan memiliki tampilan yang keruh (Spellman *and* Bieber, 2012). Limbah cair batik berwarna kebiruan atau kemerahan yang merupakan hasil dari pewarnaan dan pencelupan batik (Nurroisah dkk., 2014).

Karakteristik fisik suhu berperan penting dalam proses pengolahan secara biologis karena aktivitas mikroorganisme dipengaruhi oleh suhu optimum pertumbuhan. Oleh sebab itu, konversi bahan organik yang ada pada limbah sangat tergantung pada suhu dan dampaknya akan mempengaruhi kualitas efluen yang dihasilkan. Pengolahan limbah dengan suhu yang tidak terkendali dapat meningkatkan nilai COD (Hidayat, 2016). Kemudian untuk karakteristik fisik bau yaitu muncul karena adanya kegiatan mikroorganisme yang menguraikan zat organik dan menghasilkan gas tertentu. Kuat tidaknya bau yang dihasilkan limbah tergantung pada jenis dan banyak gas yang ditimbulkan. Bau disebabkan karena adanya campuran dari nitrogen, fosfor, protein, sulfur, amoniak, hidrogen sulfida, karbon disulfida dan zat organik lain (Arief, 2016). Bau dalam air limbah juga bisa disebabkan oleh zat yang ditambahkan ke air limbah. Bau air limbah akan berubah secara signifikan menjadi busuk karena adanya produksi hidrogen sulfida (H_2S) (Spellman *and* Bieber, 2012). Kekeruhan adalah sifat optik air yang menyebabkan cahaya tersebar dan diserap oleh partikel. Hal ini terjadi karena disebabkan oleh zat padat yang mempengaruhi transparansi air (Omar *and* Jafri, 2015). Karakteristik fisik dari limbah cair adalah total kandungan padatan yang terdiri dari materi yang mengapung, bahan suspensi, koloid dan dalam larutan (Punmia *and* Jain, 1998).

2.3.2 Karakteristik Kimia

Bahan kimia yang terdapat dalam air akan menentukan sifat air apakah termasuk beracun dan berbahaya. Semakin besar konsentrasi bahan pencemar dalam air, maka akan semakin terbatas juga penggunaan air (Arief, 2016). Karakteristik kimia mencakup kandungan BOD, COD, kesadahan, pH dan sebagainya (Hidayat, 2016). Nilai BOD pada limbah cair tekstil (termasuk batik) mencapai 1099,22 mg/L dan COD berkisar 1310 mg/L (Sumarko dkk., 2013).

2.3.2.1 *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

BOD didefinisikan sebagai jumlah konsumsi oksigen dalam sampel air yang diinkubasi pada suhu 20°C pada kondisi gelap selama 5 hari dan ditempatkan pada botol tertutup. Sejak sampel diinkubasi pada kondisi gelap, konsentrasi oksigen akan tetap konstan atau bahkan menurun. Penurunan konsentrasi oksigen mungkin terjadi akibat aktivitas respiratori mikroorganisme dan atau terjadinya oksidasi zat kimia yang tidak stabil dengan adanya oksigen, seperti Fe atau amoniak (Laws, 2018). Pada limbah cair terdapat zat organik yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen dan oksigen, serta unsur tambahan lain seperti hidrogen, belerang dan lain-lain, yang cenderung menyerap oksigen. Oksigen tersebut dipergunakan untuk menguraikan senyawa organik. Pada akhirnya kadar oksigen dalam air buangan menjadi keruh dan kemungkinan berbau. Pengukuran terhadap nilai BOD adalah kebutuhan oksigen terlarut dalam air buangan yang digunakan untuk menguraikan senyawa organik dengan bantuan mikroorganisme pada kondisi tertentu. Satuan yang biasa dipakai dinyatakan dalam mg per liter (Arief, 2016).

Uji BOD menjadi standar dalam penentuan kualitas limbah cair yang akan dibuang. Pada dasarnya pengujian BOD hanya merupakan indeks jumlah bahan organik yang dapat dimetabolisme oleh mikroorganisme. Nilai BOD mengindikasikan jumlah bahan organik yang terdegradasi secara biologis. Nilai BOD yang tinggi dapat menunjukkan bahwa limbah tersebut kaya akan bahan organik yang dapat menjadi substrat bagi mikroorganisme. Namun, nilai BOD yang

tinggi akan menurunkan oksigen terlarutnya sehingga proses-proses aerob sering tidak berlangsung. Pada limbah dengan BOD yang tinggi memerlukan pengenceran dalam analisisnya. Hal ini disebabkan semakin tinggi BOD maka limbah tersebut mempunyai oksigen terlarut yang semakin rendah. Proses aerobik dapat dilakukan pada limbah dengan nilai BOD tinggi apabila diberikan aerasi aktif yang lebih sering dikenal dengan lumpur aktif (Hidayat, 2016).

2.3.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh senyawa organik dan materi anorganik yang teroksidasi dalam air (Yang *et al.*, 2009). COD adalah jumlah konsumsi oksigen ketika zat dalam air teroksidasi oleh oksidan kimia yang kuat. COD diukur dengan merefleksikan sampel cair dalam campuran krom dan asam sulfat pada jangka waktu 2 jam. Prosedur oksidasi ini hampir selalu menghasilkan nilai konsumsi oksigen yang lebih besar daripada standar uji BOD (Laws, 2018). COD merupakan penentuan kadar oksigen yang dibutuhkan untuk oksidasi bahan kimia dalam suatu limbah. Penentuan COD biasanya menggunakan $K_2Cr_2O_7$. Uji COD merupakan uji kimia sehingga membutuhkan waktu yang lebih cepat dan analisisnya tidak dipengaruhi oleh aktivitas bakteri (Hidayat, 2016).

Pengukuran COD diperlukan untuk mengukur kebutuhan oksigen terhadap zat organik yang sulit dihancurkan secara oksidasi. Oleh karena itu dibutuhkan bantuan pereaksi oksidator yang kuat dalam suasana asam. Nilai BOD selalu lebih kecil daripada nilai COD, diukur pada senyawa organik yang dapat diuraikan maupun senyawa organik yang tidak dapat berurai (Arief, 2016). Kandungan COD akan berkurang dengan baik jika dalam unit pengolahan limbah tersebut juga terdapat mikroorganisme. Keragaman organisme yang ada juga akan mampu mempercepat penurunan COD (Hidayat, 2016).

2.3.2.3 Total Suspended Solids (TSS)

Total Suspended Solids (TSS) dianggap sebagai salah satu polutan utama yang berkontribusi terhadap penurunan

kualitas air. Pada pengolahan air dapat menyebabkan peningkatan biaya dan mempengaruhi estetika air. TSS adalah parameter penting, karena TSS yang berlebihan akan menghabiskan oksigen terlarut (DO) dalam air limbah. Dengan demikian, sangat penting untuk mengetahui nilai-nilai TSS untuk mempertahankan karakteristik yang diinginkan dari limbah (Verma *et al.*, 2013). Menurut Nurroisah dkk. (2014), padatan tersuspensi (TSS) dari limbah cair batik yaitu hingga 4920 mg/L.

2.3.2.4 Dissolved Oxygen (DO)

Oksigen dalam air diukur sebagai oksigen terlarut atau *dissolved oxygen* (DO). Satuan unit ukuran oksigen terlarut dalam air adalah *part per million* (ppm) yang merupakan jumlah oksigen (O_2) molekul per juta total molekul dalam sampel. Oksigen terlarut juga didefinisikan sebagai jumlah mol oksigen (O_2) yang dilarutkan dalam satu liter air pada suhu tersebut, dinyatakan sebagai mg O_2 /L. Persentase oksigen terlarut yang tinggi bersifat konduktif. Persentase yang rendah atau habisnya oksigen terlarut menunjukkan dampak negatif pada badan air, yang menghasilkan limpahan cacing dan larva lalat. Salah satu indikator untuk mengetahui kualitas air yaitu parameter oksigen terlarut (DO). Oksigen terlarut dapat berkisar 0-18 mg O_2 /L. Kebanyakan sistem air alami membutuhkan 5-6 mg O_2 /L untuk mendukung populasi yang beragam. Oksigen digunakan bakteri aerobik selama proses degradasi. Ketika oksigen larut dalam air, maka oksigen akan berdifusi ke seluruh bagian air secara lambat karena dipengaruhi aerasi (Palanna, 2009).

2.3.3 Karakteristik Biologis

Karakteristik biologis adalah ragam organisme yang ada pada limbah tersebut (Hidayat, 2016). Karakteristik biologis berhubungan dengan mikroorganisme yang ditemukan di air limbah. Beberapa diantaranya mungkin patogen, namun juga terdapat bakteri yang tidak berbahaya. Beberapa mikroorganisme tersebut justru membantu dalam pengolahan air limbah dan secara tidak langsung mengurangi biaya pengolahan (Punmia and Jain, 1998).

2.4 Biodegradasi

Biodegradasi merupakan penguraian atau perombakan secara biologis. Biodegradasi suatu senyawa ditentukan oleh sifat dan susunan bahan, dimana pada umumnya senyawa organik mempunyai sifat cepat terdegradasi dan senyawa anorganik mempunyai sifat lebih lambat terdegradasi. Biodegradasi akan lebih efektif jika adanya sistem simbiosis antar mikroorganisme yang diterapkan ternyata dapat menguntungkan dilihat dari segi waktu, hasil dan efisiensi (Lestari dan Hartati, 2017). Biodegradasi juga dipengaruhi oleh struktur molekul, kelarutan dalam medium, faktor-faktor lingkungan seperti pH, suhu, laju agitasi, akseptor dan ada tidaknya oksigen (Hidayat dkk., 2016).

Biodegradasi merupakan pemecahan molekul kompleks oleh organisme hidup untuk energi dan nutrisi. Biodegradasi adalah proses penting untuk menghilangkan berbagai polutan dan limbah dari lingkungan (Brown *et al.*, 2018). Biasanya produk-produk biodegradasi adalah berbentuk molekuler yang cenderung terjadi di alam. Organisme tersebut akan membentuk atau menghasilkan produk yang besar. Biodegradasi biasanya dilakukan oleh aktivitas mikroorganisme khususnya bakteri dan jamur (Riyanto, 2014).

2.4.1 Aerobik

Penguraian aerobik dapat dilakukan oleh bakteri aerobik maupun bakteri fakultatif yang beroperasi secara aerobik karena adanya udara atau oksigen yang tersedia dalam air limbah dalam bentuk terlarut. Selama proses aerobik terjadi, bahan organik akan dipecah dan dioksidasi untuk membentuk produk akhir yang stabil dan menghasilkan karbon dioksida, nitrat, sulfat dan sebagainya. Unit pengolahan pada penguraian aerobik adalah tangki aerasi, *filter trickling*, *contact beds*, kolam oksidasi dan sebagainya (Punmia and Jain, 1998). Pada reaksi biodegradasi aerobik, oksigen dapat mengoksidasi berbagai zat kimia termasuk molekul organik. Pada prosesnya, oksigen direduksi untuk menghasilkan air. Mikroba dapat lebih cepat mendegradasi senyawa organik oksidan untuk menjadi lebih sederhana dan molekul yang relatif tidak berbahaya seperti

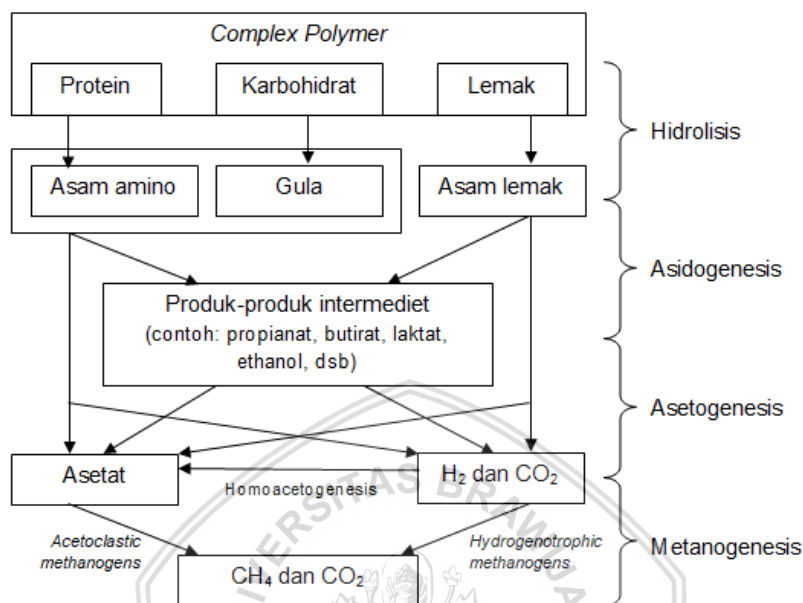
karbon dioksida (CO₂) dan gas metan. Pada proses ini bakteri menghasilkan energi, yang digunakan untuk menyusun sel dan meningkatkan biomassa (Lestari dan Hartati, 2017).

2.4.1.1 *Closed Bottle Test*

Pada *closed bottle test* digunakan larutan mineral dan dilakukan selama 28 hari, bukan 5 hari seperti dalam tes BOD klasik. Dikarenakan pada *closed bottle test*, botol BOD tidak memiliki *headspace*, maka kandungan oksigen awal terbatas sekitar 8-10 mg/L, sesuai dengan batas kelarutan dari udara pada tekanan atmosfer. Hal ini juga membatasi senyawa uji menjadi 2 mg/L dan inokulum sebanyak 10⁻⁴ sel/ ml. Keuntungan penting dari metode ini adalah dapat menangani zat yang tidak larut. Mikroorganisme dapat memanfaatkan oksigen untuk berbagai reaksi termasuk oksidasi nitrogen dan sulfur dalam bahan uji. Selanjutnya, mikroorganisme tidak mengubah substrat secara total menjadi karbon dioksida dan air, karena bagian dari substrat dapat digunakan langsung untuk pertumbuhan sel. Hal ini berarti bahwa interpretasi *closed bottle test* sering sulit, meskipun ada faktor koreksi yang dapat digunakan untuk menghitung kadar nitrogen atau sulfur (Calow, 1998). Metode *closed bottle test* adalah yang paling ketat dari semua *ready biodegradation tests*. Metode ini membutuhkan konsentrasi uji yang sangat rendah dan persyaratan konsentrasi inokulum. Tes ini menggunakan botol BOD standar dan untuk mengetahui terjadinya degradasi oleh konsumsi oksigen digunakan elektroda oksigen atau analisis titrimetri. Konsentrasi bahan uji yang sangat rendah menunjukkan bahwa metode ini akan menjadi tes yang baik untuk senyawa yang sukar larut dalam air, namun pada kenyataannya ini tidak terjadi. Pada saat melakukan tes BOD, larutan stok pekat harus diproduksi terlebih dahulu dan kemudian diencerkan sebagai bagian dari prosedur persiapan untuk mendapatkan konsentrasi akhir. Senyawa harus dilarutkan agar tes ini valid. Senyawa yang memberikan >60% degradasi dalam 10 hari dianggap sebagai biodegradabel (Knight and Thomas, 2003).

2.4.2 Anaerobik

Anaerobic digestion adalah proses alami dimana bakteri yang ada di lingkungan menguraikan bahan organik yang dapat menghasilkan energi terbarukan dalam bentuk metana (Liu *et al.*, 2008). Degradasi anaerobik merupakan proses biologis yang terjadi tanpa adanya oksigen, mengubah bahan organik kompleks menjadi biogas (campuran metan (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2)). Metan merupakan gas alami yang mudah terbakar, namun dapat digunakan untuk menghasilkan energi panas dan listrik, atau secara langsung digunakan sebagai bahan bakar kendaraan. Proses *anaerobic digestion* dibagi menjadi 4 tahap yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. **Gambar 2.1** merupakan tahapan *anaerobic digestion* (Suhartini, 2014). Pada fase pertama, bakteri anaerobik menggunakan enzim untuk menguraikan senyawa organik kompleks seperti protein, karbohidrat, selulosa dan lemak menjadi senyawa sederhana seperti asam amino, asam lemak, gula dan sebagainya. Selama fase kedua, bakteri pembentuk asam melanjutkan proses dekomposisi menjadi asam organik (Akinshina *et al.*, 2012) atau *volatile fatty acid* (VFA) seperti propionat, asam butirat dan sebagainya (Suhartini, 2014). Selama fase asetogenesis, bakteri asam akan membentuk asetat, karbondioksida dan hidrogen. Fase terakhir yaitu metanogenesis yang menghasilkan gas metan dan karbondioksida (Akinshina *et al.*, 2012).



Gambar 2.1 Tahapan proses *anaerobic digestion*
(Sumber: Hobson and Wheatley, 1993; Suhartini, 2014)

2.4.2.1 Biochemical Methane Potential (BMP)

Biochemical methane potential (BMP) test adalah metodologi yang paling banyak digunakan untuk menentukan produksi metana maksimum (B_0) dari substrat tertentu. Pengukuran dilakukan untuk menentukan (B_0) dengan mencatat produksi metana ketika substrat dicampur dengan inokulum anaerob aktif (Silva *et al.*, 2017). BMP adalah teknik pengujian anaerobik secara *batch* untuk memonitor biodegradabilitas relatif. BMP adalah ukuran biodegradabilitas sampel. Jika BOD menunjukkan banyaknya polutan organik yang dapat didegradasi oleh proses aerobik, maka BMP menunjukkan COD yang dapat direduksi dan volume metana yang dapat dihasilkan pada pengolahan limbah secara anaerob. Pengujian BMP ini menggunakan alat yang sederhana untuk memonitor biodegradabilitas substrat pada proses anaerobik (Syafila dkk., 2007). Pengolahan dapat diklasifikasikan dari mikroorganisme

yang dominan yaitu *mesophilic* (digunakan pada 30 hingga 40°C) atau *thermophilic* (digunakan pada 50 hingga 60°C) (Akinshina *et al.*, 2012). Aspek penting yang harus dipertimbangkan ketika melakukan tes BMP yaitu meliputi substrat dan karakteristiknya, ukuran partikel substrat, inokulum dan aktivitasnya, nutrisi atau mikronutrien atau vitamin dan pencampuran (Suhartini, 2014).

2.4.3 Perbedaan Pengolahan Aerobik dan Anaerobik

Proses *aerobic digestion* sangat cocok untuk pengolahan dalam skala industri, *municipal* dan sejenisnya. Industri lebih memilih *aerobic digestion* karena investasi yang diperlukan rendah dan operasi yang sederhana. Sedangkan fasilitas pengolahan air limbah sering menggunakan *anaerobic digestion* untuk mengurangi materi organik menjadi karbon dioksida, metana, dan produk akhir inert lainnya. Pada proses *aerobic digestion* produk akhir akan lebih stabil, namun tidak menghasilkan metan (Liu dan Liptak, 1999). Menurut Chan *et al.* (2009), pengolahan secara aerobik mempunyai keuntungan dan kelemahan jika dibandingkan dengan anaerobik. Tabel perbandingan pengolahan secara aerobik dan anaerobik dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Tabel perbandingan pengolahan aerobik dan anaerobik

Proses	Aerobik	Anaerobik
Efisiensi penghilangan zat organik	Tinggi	Tinggi
Kualitas efluen	Baik sekali	Rendah sampai sedang
<i>Organic loading rate</i>	Sedang	Tinggi
Produksi lumpur	Tinggi	Rendah
Kebutuhan nutrisi	Tinggi	Rendah
Kebutuhan alkalinitas	Rendah	Tinggi untuk limbah tertentu
Kebutuhan energi	Tinggi	Rendah sampai sedang
Sensitivitas suhu	Rendah	Tinggi
Waktu mulai	2 – 4 minggu	2 – 4 bulan
Odor	Sedikit potensi bau	Berpotensi bau
Bioenergi dan <i>nutrient recovery</i>	Tidak	Ya

Sumber: Chan *et al.* (2009)

2.5 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian Cho *et al.* (1995) dilakukan uji BMP dari campuran limbah makanan Korea. Penelitian dilakukan duplikat selama 28 hari pada sampel limbah, kontrol blangko dan kontrol positif α selulosa. *Loading* sampel yang digunakan yaitu 2, 4, 10, 50 kgVS/m³. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat produksi metan dipengaruhi oleh *loading* sampel. Dimana produksi metan akan lebih tinggi dan proses lebih cepat terjadi pada *loading* sampel yang rendah.

Pada penelitian Fadil *et al.* (2003) bertujuan untuk mengevaluasi efek dari mikroorganisme pada biodegradasi aerobik *olive mill wastewater* (OMW) dan untuk menguji kapasitas mikroorganisme tersebut dalam mengurangi kandungan organik dan fenolik dari OMW. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi COD menyebabkan penurunan persentase COD dan fenol total. Efisiensi degradasi COD tertinggi yaitu pada konsentrasi COD awal 40 g/L dan konsentrasi 60 g/L. Degradasi senyawa fenolik tertinggi yaitu pada konsentrasi COD awal 60 g/L. Lalu hasil rata-rata penurunan persentase COD adalah 55%, 52,5% dan 62,8%. Sedangkan penurunan polifenol maksimum yaitu 46,6%, 44,3% dan 51,7%. Data tersebut menunjukkan bahwa OMW dapat diolah secara aerobik dengan menghasilkan besarnya penurunan COD setelah pengenceran.

Pada penelitian Filosofia (2011) yang bertujuan untuk menganalisis biodegradasi OSD dengan metode karbon organik terlarut (DOC) *die-away* dan botol tertutup (*closed bottle test*) sebagai pembanding. Pada metode *closed bottle test* dihasilkan nilai persentase biodegradasi Na-benzoat 1 mg/L yaitu sebesar 88,55% dan pada Na-benzoat 2 mg/L menghasilkan 88,40% setelah 28 hari. Hasil pengukuran tersebut menandakan keduanya dapat terdegradasi dengan baik.

Pada penelitian Sutterlin *et al.* (2008) yang bertujuan untuk meneliti biodegradabilitas dari *Quaternary Ammonium Compounds* (QACs) dengan menggunakan perbedaan surfaktan anionik. Metode biodegradasi yang digunakan yaitu *closed bottle test*. Hasil menyebutkan bahwa senyawa yang mudah terdegradasi yaitu pada anionik LAS dan SDS sebagai

zat tunggal dengan persentase biodegradabilitas 50% dan 69%. Sedangkan untuk semua jenis QACs tidak ada yang dapat terdegradasi.

Penelitian Sianita dan Nurchayati (2009) menunjukkan bahwa hasil limbah cair batik yang diolah secara aerob yang diukur setelah 1 sampai 6 jam dapat menurunkan kadar COD hingga 76,59% karena adanya oksigen sebagai sumber energi untuk mempercepat penguraian zat organik. Sedangkan secara anaerob yang diukur setelah 1 sampai 6 hari, kadar COD turun hanya sebesar 69,43%.

2.6 Hipotesis

Diduga kondisi perlakuan aerobik dan anaerobik berpengaruh pada biodegradabilitas limbah cair batik.





III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bioindustri Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya dan di Laboratorium Sentral Ilmu Hayati Universitas Brawijaya. Penelitian dilaksanakan mulai dari bulan November 2017 hingga Agustus 2018.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1. Aerobik

Peralatan yang digunakan pada proses aerobik yaitu DO meter, pH meter, inkubator, timbangan digital, *hot plate stirrer*, *magnetic stirrer*, aerator, mikro pipet, labu ukur 1 L, labu ukur 50 ml, botol plastik 5 L, botol duran 1 L, botol kaca 100 ml, botol cokelat 100 ml, gelas beker, gelas ukur, spatula dan pipet tetes. Bahan-bahan yang dibutuhkan yaitu sampel limbah cair batik, inokulum aerob, KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, NH_4Cl , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, HCl , EDTA, larutan NaOH 0.1 N, *deionised water*, dan aluminium foil.

3.2.2 Anaerobik

Peralatan yang digunakan pada proses anaerobik dalam uji BMP yaitu botol kaca 250 ml, manometer, *waterbath*, pH meter, termometer. Lalu juga dibutuhkan peralatan seperti timbangan digital, *crucible*, oven, *muffle furnace*, desikator, mikro pipet, gelas beker, gelas ukur, corong, dirigen, dan saringan. Bahan yang dibutuhkan yaitu limbah cair batik dan inokulum sebagai inokulum.

3.3 Batasan Masalah

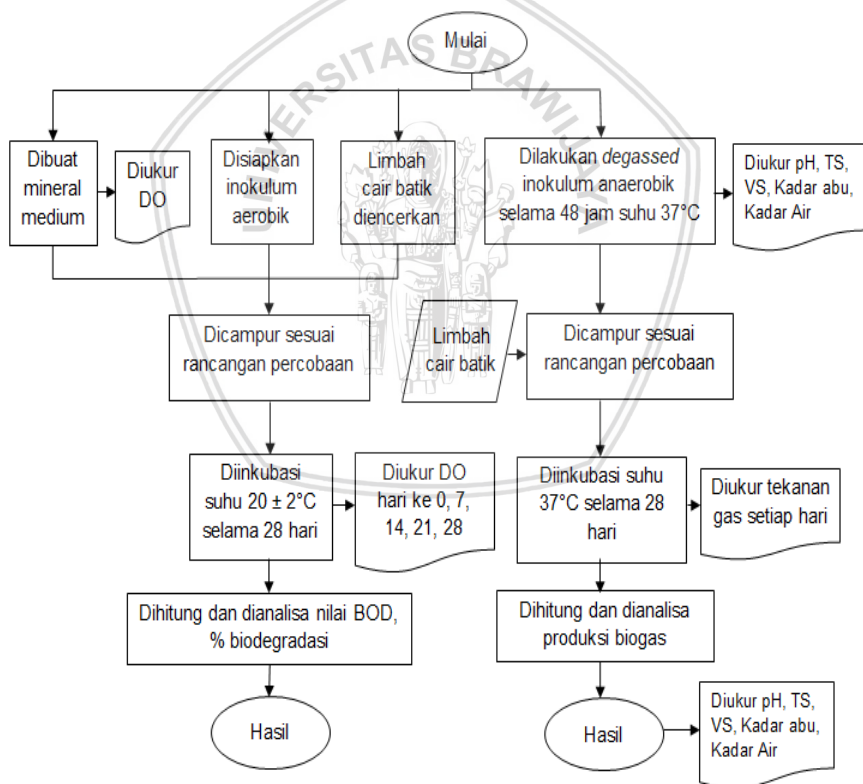
Penelitian ini dibatasi dengan beberapa hal berikut:

1. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium
2. Limbah cair batik yang digunakan berasal dari UKM “Batik Blimbing” Malang
3. Inokulum untuk biodegradasi aerobik berasal dari kolam MCK Terpadu Tlogomas, Malang

4. Inokulum untuk biodegradasi anaerobik yaitu residu organik pengolahan anaerobik kotoran sapi yang diperoleh dari Balai Besar Penelitian Peternakan Kota Batu

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dari identifikasi permasalahan limbah cair batik, perumusan masalah dan ditunjang studi literatur, dilakukan penelitian pendahuluan, menentukan hipotesis dan rancangan penelitian lalu dilakukan penelitian utama. Pada penelitian utama dilakukan biodegradasi aerobik dan biodegradasi anaerobik selama 28 hari. Alur penelitian utama dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.4.1 Metode Pengambilan Sampel

Limbah cair batik diambil dari UKM “Batik Blimbing” Malang dengan metode *grab sampling*. Metode *grab sampling* merupakan teknik sampling dengan cara mengambil bagian yang berukuran besar dari suatu material secara acak (tanpa seleksi yang khusus) (Wijaya dkk., 2016). Pengambilan sampel limbah cair dilakukan satu kali saja secara acak dan langsung dimasukkan ke dalam wadah jerigen. Limbah cair yang tersedia yaitu berasal dari proses pembuatan batik selama beberapa hari, ditampung dalam wadah jerigen oleh pihak UKM. Kondisi limbah cair batik yaitu berwarna pekat dan keruh karena proses perwarnaan.

3.4.2 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk memastikan apakah biodegradasi pada limbah cair batik dapat optimal dilakukan secara aerobik maupun anaerobik. Pada penelitian pendahuluan proses aerob dilakukan dengan membuat mineral medium terlebih dahulu dari bahan-bahan kimia. Penelitian dilakukan dengan menggunakan botol kaca ukuran 100 ml sebagai botol BOD. Sampel limbah cair batik yang digunakan dalam 100 ml media yaitu sebanyak 1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml, dan 5 ml Inokulum yang digunakan yaitu 0,5 ml. Mineral medium ditambahkan hingga tidak terdapat *headspace* pada botol BOD. Proses inkubasi dilakukan pada suhu $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Pengamatan dilakukan selama 28 hari dengan mengumpulkan data hasil uji DO pada hari 0, 7, 14, 21, 28 untuk menghitung nilai BOD dan persentase biodegradasi yang terjadi.

Pada penelitian pendahuluan proses anaerob, dilakukan *degassed* untuk inokulum selama 48 jam dan diletakan pada *waterbath* suhu 37°C . Botol uji yang digunakan pada penelitian pendahuluan yaitu berukuran 100 ml. Volume sampel uji yang dimasukan yaitu 40 ml yang terdiri dari volume limbah cair batik 25,03 ml dan inokulum sebanyak 14,97 ml. Proses inkubasi dilakukan pada suhu 37°C . Pengamatan dilakukan setiap hari selama 28 hari dengan mengumpulkan data berupa tekanan gas dari setiap sampel uji.

3.4.3 Penentuan Rancangan Percobaan

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Pada proses aerobik yaitu menggunakan 5 perlakuan dan 3 kali ulangan. Pada biodegradasi aerobik menggunakan kontrol yang berisi inokulum saja dan kontrol yang berisi inokulum dengan mineral medium. Rancangan percobaan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Rancangan percobaan biodegradasi aerobik

Ulangan	Perlakuan				
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
1	P ₁₁	P ₂₁	P ₃₁	P ₄₁	P ₅₁
2	P ₁₂	P ₂₂	P ₃₂	P ₄₂	P ₅₂
3	P ₁₃	P ₂₃	P ₃₃	P ₄₃	P ₅₃

Keterangan:

P₁ = Penambahan limbah cair batik 1 ml

P₂ = Penambahan limbah cair batik 2 ml

P₃ = Penambahan limbah cair batik 3 ml

P₄ = Penambahan limbah cair batik 4 ml

P₅ = Penambahan limbah cair batik 5 ml

Pada proses anaerobik juga digunakan 5 perlakuan dan dilakukan 3 kali ulangan. Pada percobaan ini digunakan sampel kontrol terdiri dari kontrol *blank* (inokulum tanpa penambahan substrat) digunakan untuk mengukur produksi biogas awal dari inokulum dan kontrol positif (inokulum dan α -selulosa) digunakan untuk menguji aktivitas inokulum. Rancangan percobaan dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Rancangan percobaan proses anaerobik

Ulangan	Perlakuan				
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
1	S_{11}	S_{21}	S_{31}	S_{41}	S_{51}
2	S_{12}	S_{22}	S_{32}	S_{42}	S_{52}
3	S_{13}	S_{23}	S_{33}	S_{43}	S_{53}

Keterangan:

S_1 = Penambahan limbah cair batik 1 ml

S_2 = Penambahan limbah cair batik 2 ml

S_3 = Penambahan limbah cair batik 3 ml

S_4 = Penambahan limbah cair batik 4 ml

S_5 = Penambahan limbah cair batik 5 ml

3.4.4 Metode Penelitian Utama

3.4.4.1 Uji Karakteristik

Uji karakteristik limbah cair batik dilakukan di Laboratorium Lingkungan Perum Jasa Tirta I, Malang. Uji karakteristik bertujuan untuk mengetahui kualitas dari limbah cair batik yang kemudian dibandingkan dengan standar. Parameter yang diujikan yaitu sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang baku mutu limbah cair tekstil yang mencakup limbah cair batik. Parameter yang diuji yaitu pH menggunakan metode sesuai SNI 06-6989.11-2004. BOD dengan metode APHA. 5210 B-1998. COD dengan metode APHA. 5220 D-1998 (Spektrofotometri), TSS dengan metode APHA. 2541 D-2005, amonia dengan metode APHA. 4500-NH₃ F-2005, sulfida dengan metode APHA. 4500-S₂ D-2005, fenol dengan metode APHA. 5530-1998 (Spektrofotometri), minyak dan lemak dengan metode APHA. 5220 B-1998, dan total Cr dengan metode APHA. 3111 B-2005. Langkah-langkah metode analisa yang digunakan dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

3.4.4.2 Biodegradasi Aerobik

Penelitian aerobik ini menggunakan metode *closed bottle test* sesuai dengan prosedur yang terdapat pada *OECD Guideline For Testing of Chemicals* (1992). Penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu dimulai dari pembuatan larutan

A, larutan B, larutan C, larutan D yang merupakan istilah untuk membedakan masing-masing larutan yang digunakan dalam penelitian, pembuatan mineral medium, pengenceran sampel limbah cair batik dan persiapan bahan uji. Berikut adalah tahapan dalam penelitian yang dilakukan.

1. Pembuatan Larutan A

Pada pembuatan larutan A digunakan 4 jenis bahan kimia yang kemudian dilarutkan pada labu ukur 50 ml. Bahan kimia yang digunakan yaitu *potassium dihydrogen orthophosphate* (KH_2PO_4) sebanyak 0,425 g, *dipotassium hydrogen orthophosphate* (K_2HPO_4) sebanyak 1,088 g, *disodium hydrogen orthophosphate* ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 1,670 g, dan *ammonium chloride* (NH_4Cl) sebanyak 0,025 g. Keempat bahan kimia tersebut selanjutnya dimasukan labu ukur dan ditambah *deionised water* hingga 50 ml, lalu dihomogenkan. Kemudian dianalisis pH larutan harus 7,4. Ketika kurang dari syarat nilai pH tersebut maka ditambahkan NaOH 0,1 N. Larutan A ditambahkan 0,020 g EDTA untuk mengawetkan larutan. Diagram alir pembuatan larutan A dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

2. Pembuatan Larutan B

Pada pembuatan larutan B digunakan 1 bahan kimia yaitu *calcium chloride dihydrate* ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 1,820 g. Kemudian dimasukan labu ukur 50 ml dan dilarutkan, lalu dihomogenkan. Larutan B ditambahkan 0,020 g EDTA untuk mengawetkan larutan. Diagram alir pembuatan larutan B dapat dilihat pada **Lampiran 3**.

3. Pembuatan Larutan C

Pada pembuatan larutan C digunakan 1 bahan kimia yaitu *magnesium sulphate heptahydrate* ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 1,125 g. Kemudian dimasukan labu ukur 50 ml dan dilarutkan dengan *deionised water*, lalu dihomogenkan. Larutan C ditambahkan 0,020 g EDTA untuk mengawetkan larutan. Diagram alir dapat dilihat pada **Lampiran 4**.

4. Pembuatan Larutan D

Pada pembuatan larutan D digunakan 1 bahan kimia yaitu *iron (III) chloride hexahydrate* ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 0,013 g. Kemudian dimasukan labu ukur 50 ml dan dilarutkan dengan *deionised water*, selanjutnya dihomogenkan. Larutan D ditambahkan 0,020 g EDTA untuk diawetkan. Diagram alir pembuatan larutan D dapat dilihat pada **Lampiran 5**.

5. Pembuatan Mineral Medium

Mineral medium dibuat dari larutan A, larutan B, larutan C dan larutan D. Masing-masing dari larutan tersebut diambil 1 ml menggunakan mikro pipet. Lalu keempat larutan tersebut dimasukan ke labu ukur 1 L dan ditambahkan *deionised water* hingga bervolume 1 L, kemudian dihomogenkan. Setelah itu ditempatkan pada botol kaca 1 L untuk dilakukan proses aerasi selama minimal 20 menit. Mineral medium ditempatkan pada suhu $20 \pm 2^\circ\text{C}$ hingga 20 jam. Mineral medium akan siap digunakan setelah dibiarkan selama 20 jam. Sebelum digunakan perlu diukur kadar DO pada mineral medium. Diagram alir pembuatan mineral medium dapat dilihat pada **Lampiran 6**.

6. Pembuatan sampel uji untuk *closed bottle test*

Pada tes ini dilakukan preparasi botol, inokulum dan pengenceran sampel limbah cair batik. Sebelum botol digunakan dalam penelitian, perlu dilakukan pencucian dengan air biasa kemudian menggunakan *deionised water*. Sampel limbah cair batik yang digunakan yaitu sudah diencerkan bertingkat hingga 10^{-3} . Volume sampel limbah cair batik yang dimasukan dalam botol yaitu 1 ml, 2 ml, 3ml, 4 ml, 5 ml. Inokulum yang digunakan dalam penelitian yaitu 0,5 ml. Mineral medium ditambahkan pada masing-masing botol hingga bervolume 100 ml. Pada botol kontrol digunakan inokulum saja tanpa tambahan bahan lain. Pada setiap botol harus diisi dengan bahan uji hingga penuh dan tidak terdapat *headspace*. Lalu diinkubasi pada suhu $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Pengamatan dilakukan selama 28 hari dengan mengumpulkan data hasil uji DO pada hari 0, 7, 14, 21, 28 untuk menghitung nilai BOD dan persentase

biodegradasi yang terjadi. Pengukuran DO dilakukan dengan menggunakan alat DO meter. Diagram alir pembuatan sampel uji untuk *closed bottle test* dapat dilihat pada **Lampiran 7**.

3.4.4.3 Biodegradasi Anaerobik

Penelitian anaerobik ini menggunakan tes *Biochemical Methane Potential* (BMP). Prosedur BMP mengikuti prosedur yang digunakan oleh Suhartini (2014) dengan modifikasi. Uji BMP dilakukan selama 28 hari pada suhu 37°C. Sampel uji BMP yang dibuat yaitu sampel blanko (inokulum saja), sampel kontrol selulosa (α selulosa) dan sampel limbah cair batik. Sampel blanko yang hanya berisi inokulum digunakan untuk mengukur produksi biogas awal dari inokulum. Sampel kontrol selulosa (inokulum dengan α selulosa) digunakan untuk menguji aktivitas inokulum. Tahap awal penelitian ini yaitu dilakukan persiapan inokulum anaerobik. Selanjutnya yaitu tahap uji BMP akan dihitung kandungan biogas yang dihasilkan dan diakhir uji BMP diukur kadar air, TS, kadar abu serta VS.

1. Persiapan Inokulum

Persiapan inokulum dimulai dari pengambilan residu organik (*slurry*) dari pengolahan anaerobik kotoran sapi Balai Besar Penelitian Pertenakan di Kota Batu sebanyak 1 L. Pada saat pengambilan, dilakukan penyaringan terlebih dahulu. Kemudian dimasukan ke dirigen. Lalu dimasukkan ke botol dan dilakukan *degassed* selama 48 jam pada suhu 37°C sebelum digunakan untuk tes BMP. Diagram alir persiapan inokulum dapat dilihat pada **Lampiran 8**.

2. Tes *Biochemical Methane Potential* (BMP)

Pada tes BMP ini digunakan rasio VS (*Volatile Solid*) untuk menentukan volume sampel uji. Volume total pada setiap botol uji yaitu 40 ml. Pada kontrol *blank* (inokulum saja) berisi inokulum 40 ml. Kontrol positif (sampel α selulosa dengan inokulum) berisi α selulosa sebanyak 0,13 g dan inokulum 39,87 g. Pada botol sampel digunakan limbah cair batik dengan volume masing-masing 1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml, 5 ml dan ditambahkan inokulum hingga 40 ml. Masing-masing sampel

dimasukkan ke dalam botol tes 250 ml dan ditutup dengan rapat. Kemudian diinkubasi pada *waterbath* dengan suhu 37°C. Setiap hari akan dilakukan pengukuran tekanan pada masing-masing sampel menggunakan manometer selama 28 hari. Kemudian dihitung dan dianalisa hasil produksi biogas. Diagram alir uji BMP dapat dilihat pada **Lampiran 9**.

3. Pengukuran kadar air, TS, kadar abu, VS dari hasil uji BMP.

Pengukuran dilakukan berdasarkan SNI 01-2891-1992 untuk mengetahui kadar air dan TS dari sampel. Kemudian dilakukan pengukuran kadar abu dan VS untuk mengetahui kandungan bahan organik dari sampel uji. Tahap pengukuran kadar air, TS, kadar abu dan VS dapat dilihat pada **Lampiran 10**.

3.4.5 Analisis Data

3.4.5.1 Karakteristik Limbah Cair Batik

Hasil uji karakteristik limbah cair batik akan dibandingkan dengan kadar maksimum baku mutu yang telah ditetapkan pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang baku mutu limbah cair tekstil yang mencakup limbah cair batik. Parameter yang analisa yaitu pH, BOD, COD, TSS, amonia, sulfida, fenol, minyak dan lemak dan total Cr.

3.4.5.2 Biodegradasi Aerobik

Data awal yang diukur pada setiap sampel yaitu nilai DO mulai dari hari 0, 7, 14, 21, 28. Selanjutnya dilakukan penghitungan BOD dan tingkat persentase biodegradasi dari nilai DO yang diperoleh. Rumus perhitungan BOD dan tingkat persentase biodegradasi adalah sebagai berikut (EOCD, 1992):

$$\text{BOD} = (\text{DO}_0 - \text{DO}_n) \times p \quad (3.1)$$

Keterangan:

DO_0 = nilai DO pada hari ke 0 (mg/L)

DO_n = nilai DO pada hari n (7, 14, 21, 28) (mg/L)

p = faktor pengenceran

$$\text{Persentase biodegradasi (\%)} = \frac{\text{BOD} - \text{BOD}_n}{\text{COD}} \times 100 \quad (3.2)$$

Keterangan:

BOD = Nilai BOD awal (mg/L)

BOD_n = Nilai BOD hari ke n (7, 14, 21, 28) (mg/L)

COD = Nilai COD awal (mg/L)

$$\text{Persentase biodegradasi Teoritis (\%)} = \frac{\text{BOD}}{\text{COD}} \times 100 \quad (3.3)$$

Keterangan:

BOD = Nilai BOD limbah cair UKM “Batik Blimbing” (mg/L)

COD = Nilai COD limbah cair UKM “Batik Blimbing” (mg/L)

3.4.4.3 Biodegradasi Anaerobik

Penghitungan volume biogas dalam botol uji dilakukan dengan mengkonversikan tekanan hasil pengukuran manometer dengan menggunakan hukum gas ideal

$$P V = n R T \quad (3.4)$$

dimana,

P = Tekanan (kPa)

V = Volume gas (ml)

n = Jumlah mol gas (mol)

T = Suhu (K)

R = Konstanta gas ideal (8.314 J/K mol)

Selanjutnya menghitung potensi spesifik metana yang merupakan jumlah metana yang dapat dihasilkan per harinya pada produksi biogas. Spesifik metana dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$BMP = \frac{V_S - V_I}{m_{VS,sS}} = \frac{V_S - V_B \frac{m_{VS,IS}}{m_{VS,IB}}}{m_{VS,sS}} = \frac{V_S - V_B \frac{m_{IS}}{m_{IB}}}{m_{VS,sS}} \quad (3.4)$$

Keterangan:

- V_S = Akumulasi volume metana dari botol sampel (ml)
- V_I = Volume metana yang berasal dari inokulum dalam botol sampel (ml)
- $m_{VS,sS}$ = Jumlah bahan organik substrat dalam botol sampel (g VS/ kg WW)
- V_B = Volume metana yang berasal dari inokulum (ml)
- m_{IS} = Volume inokulum dalam sampel (ml)
- m_{IB} = Volume inokulum pada *blank* (ml)





IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Limbah Cair Batik

Pengujian karakteristik dilakukan di Laboratorium Perum Jasa Tirta I Malang yang mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang baku mutu limbah cair tekstil yang mencakup limbah cair batik. Berdasarkan pengamatan secara langsung, limbah cair dari UKM “Batik Blimbing” Malang tampak keruh dan berwarna ungu kehitaman yang pekat. Karakteristik limbah cair batik di UKM “Batik Bimbing” Malang dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1. Hasil Uji Karakteristik Limbah Cair Batik

No	Parameter	Satuan	Hasil	Kadar Maksimum *)
1.	pH	-	6,6	6 – 9
2.	BOD	mg/L	8651	60
3.	COD	mg/L	54700	150
4.	TSS	mg/L	1483	50
5.	Amonia (NH ₃ -N)	mg/L	1,440	8
6.	Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,062	0,3
7.	Fenol	mg/L	0,616	0,5
8.	Minyak dan Lemak	mg/L	4,2	3,0
9.	Cr. Total	mg/L	<0,0204	1,0

*) Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013

Sumber: Pusat Data Lingkungan (2014)

Parameter yang tidak melebihi kadar maksimum yaitu pH, kandungan amonia, sulfida, dan kromium (Cr) total. Hasil pengukuran parameter yang tidak melebihi kadar maksimum ini sama dengan penelitian Aryani dkk. (2004), nilai pH limbah cair batik yaitu 6,9 dan kandungan kromium 0,0458 mg/L serta penelitian Hardyanti (2017), juga menunjukkan hasil kandungan amoniak senilai 5,47 mg/L, sulfida 0,040 mg/L, kromium 0,1385 mg/L dan pH 6 yang masih sesuai dengan peraturan.

Parameter yang melebihi ketentuan kadar maksimum yaitu nilai BOD sebesar 8651 mg/L. Menurut Sinha, *et. al.* (2007), nilai BOD yang tinggi sebanding dengan tingginya jumlah bahan organik (polutan) pada air limbah. Menurut Swati

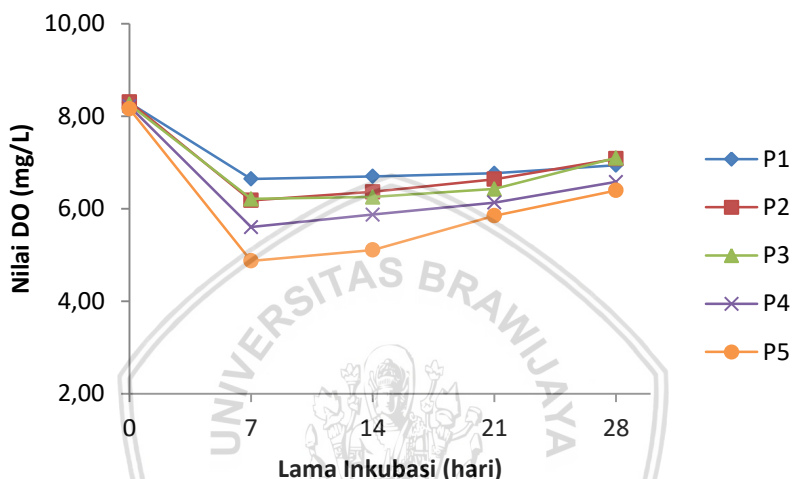
and Faruqui (2018), BOD tinggi menyebabkan habisnya jumlah oksigen terlarut secara cepat pada perairan jika langsung dibuang ke lingkungan (sungai, danau, dsb). Nilai COD sebesar 54700 mg/L. Nilai COD tinggi menunjukkan tingginya zat organik yang hanya dapat dioksidasi secara kimia (Sinha *et al.*, 2007). Efluen dengan kadar COD tinggi bersifat beracun (Swati and Faruqui, 2018). Nilai TSS sebesar 1483 mg/L. Tingginya nilai TSS limbah cair batik diduga adanya sisa lilin dari proses pelepasan lilin (Aryani dkk., 2004). TSS dapat mempengaruhi kekeruhan limbah cair (Sinha *et al.*, 2007), menghambat fotosintesis organisme akuatik dan menyebabkan kekurangan oksigen dalam air (Yaakob *et al.*, 2018). Kandungan fenol sebesar 0,616 mg/L. Fenol dalam limbah cair batik berasal dari pelunturan lilin (Aryani dkk., 2004). Fenol digunakan sebagai pelarut pewarna kain. Senyawa fenol akan berbahaya jika langsung dibuang ke lingkungan (Saraswati dkk., 2014). Kandungan minyak dan lemak yaitu 4,2 m/L. Minyak dan lemak dihasilkan dari proses pencucian dengan air panas untuk menghilangkan lilin (Aryani dkk., 2004). Kadar minyak yang melebihi 0,3 mg/L akan bersifat toksik terhadap perairan (Saraswati dkk., 2014).

Penghitungan rasio C/N dari bahan limbah cair UKM “Batik Blimbing” dilakukan dengan membandingkan nilai COD dengan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dari tabel karakteristik, dihasilkan rasio sebesar 37986:1. Rasio C/N yang tinggi akan menyebabkan proses biodegradasi berlangsung lebih lama (Putra dkk., 2016). Menurut Dioha *et al.* (2014), produksi biogas akan optimum pada nilai rasio C/N 25-30. Tingginya kandungan karbon (COD) akan menghasilkan lebih banyak pembentukan karbon dioksida dibandingkan metan.

Berdasarkan data hasil uji karakteristik limbah cair UKM “Batik Blimbing” dapat disimpulkan bahwa terdapat parameter limbah cair batik yang melebihi peraturan kadar maksimum yaitu BOD, COD, TSS, fenol, minyak dan lemak yang bernilai cukup tinggi. Tingginya nilai tersebut menunjukkan tingkat pencemaran yang kuat, sehingga perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah cair UKM “Batik Blimbing” Malang.

4.2 Biodegradasi Aerobik

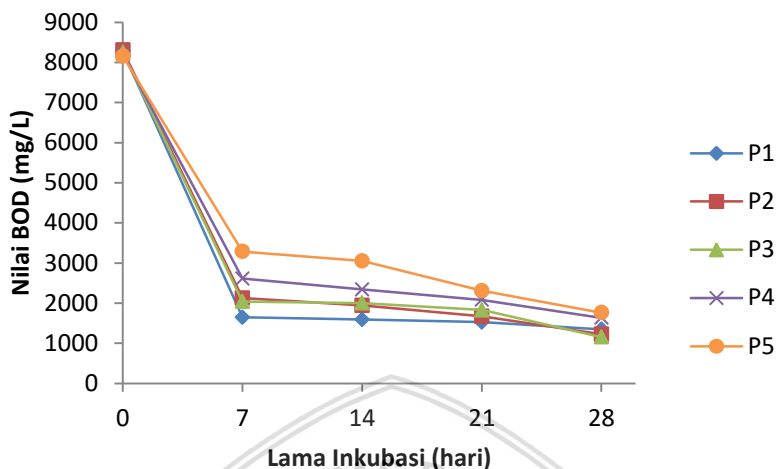
Pada biodegradasi aerobik dihasilkan data pengukuran DO hari ke 0, 7, 14, 21, 28 yang digunakan untuk menghitung BOD dan persentase biodegradasi. Hasil nilai pengukuran DO setiap sampel dapat dilihat pada **Lampiran 11**. Grafik hasil rata-rata pengukuran DO dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Rata-Rata Pengukuran DO

Berdasarkan **Gambar 4.1** dapat dilihat bahwa nilai DO setiap sampel mengalami penurunan yang tajam pada hari ke 7. Nilai DO terendah yaitu pada perlakuan penambahan limbah cair batik 5 ml (P5) bernilai 4,87 mg/L, sedangkan nilai DO tertinggi yaitu pada perlakuan penambahan limbah cair batik 1 ml (P1) dengan 6,64 mg/L. Menurut Aryani (2004), semakin besar kadar limbah cair batik yang ditambahkan maka akan semakin mengalami penurunan kadar DO.

Hasil pengukuran DO digunakan untuk menghitung nilai BOD dengan mengacu rumus (3.1). Hasil penghitungan BOD dapat dilihat pada **Lampiran 12**. Grafik hasil penghitungan BOD dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.

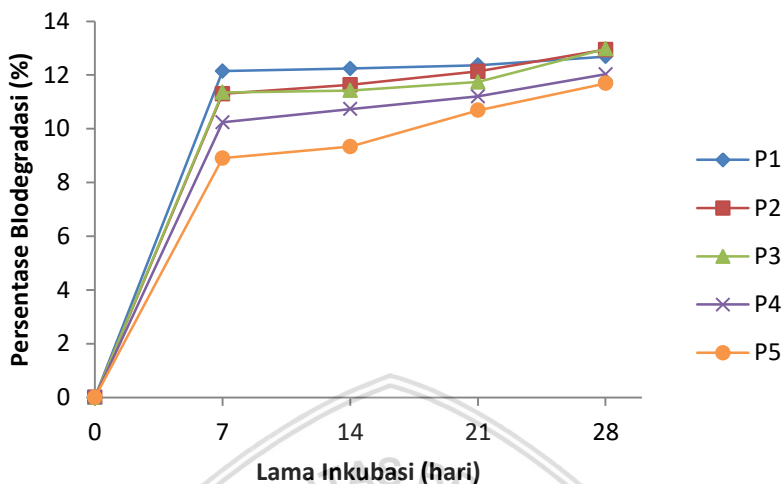


Gambar 4.2 Grafik Hasil Penghitungan BOD

Pada **Gambar 4.2** menunjukkan bahwa nilai BOD semakin menurun seiring pertambahan lama inkubasi. Menurut Wirosoedarmo (2016), nilai BOD semakin lama akan semakin menurun. Menurut Doraja dkk. (2012), penurunan nilai BOD disebabkan karena terdegradasinya sebagian bahan organik.

Pada hari ke 7, semua sampel mengalami penurunan nilai BOD paling tajam. Setelah 28 hari inkubasi, penurunan nilai BOD paling besar terjadi pada perlakuan penambahan limbah cair batik 1 ml (P1) sebesar 86%. Penurunan nilai BOD paling kecil yaitu pada perlakuan penambahan limbah cair batik 5 ml (P1) sebesar 78%. Pada perlakuan penambahan limbah cair batik 2 ml (P2), 3 ml (P3), 4 ml (P4) mengalami penurunan berturut-turut sebesar 85%, 84%, 80%.

Penghitungan persentase biodegradasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan biodegradasi (biodegradabilitas) dari limbah cair batik. Penghitungan mengacu pada rumus (3.2). Hasil penghitungan persentase biodegradasi dapat dilihat pada **Lampiran 13**. Grafik hasil penghitungan persentase biodegradasi dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Penghitungan Persentase Biodegradasi

Pada **Gambar 4.3** menunjukkan bahwa nilai persentase biodegradasi mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan hari inkubasi. Nilai persentase biodegradasi tertinggi yaitu pada sampel perlakuan penambahan limbah cair batik 1 ml (P1), 2 ml (P2), 3 ml (P3) dengan nilai 13% setelah inkubasi 28 hari. Pada sampel perlakuan penambahan limbah cair batik 4 ml (P4) dan 5 ml (P5) mengalami biodegradasi 12% setelah inkubasi selama 28 hari. Secara perhitungan teoritis dengan menggunakan rumus (3.3), dihasilkan nilai 15,8%. Diartikan bahwa apabila biodegradasi terjadi secara sempurna akan dihasilkan nilai persentase biodegradasi sebesar 15,8% dari nilai BOD/COD. Sehingga dapat disimpulkan bahwa biodegradasi aerobik limbah cair UKM “Batik Blimbing” yang dilakukan sudah cukup baik karena persentase biodegradasi hanya selisih 2,8% dari perhitungan teoritis.

4.3 Biodegradasi Anaerobik

4.3.1 Kondisi Akhir Uji BMP

Pada kondisi akhir uji BMP dilakukan pengukuran pH pada setiap sampel. Salah satu faktor yang mempengaruhi

proses produksi biogas adalah pH. Hasil pengukuran pH awal dan akhir setiap sampel uji dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2. Nilai pH Awal dan Akhir dari Sampel Uji

No.	Sampel	pH Awal	pH Akhir
1.	Kontrol inokulum (<i>blank</i>)	7,5	7,4
2.	Kontrol α -selulosa	7,6	7,2
3.	S1 (limbah cair batik 1 ml)	7,5	7,4
4.	S2 (limbah cair batik 2 ml)	7,5	7,5
5.	S3 (limbah cair batik 3 ml)	7,7	7,6
6.	S4 (limbah cair batik 4 ml)	7,7	7,6
7.	S5 (limbah cair batik 5 ml)	7,7	7,6

Berdasarkan **Tabel 4.2** dapat dilihat bahwa pH awal sampel berada pada rentang 7,5 – 7,7. Menurut Cioabla *et al.* (2012), rentang pH optimum dalam proses *anaerobic digestion* adalah 6,8 - 7,2. Namun, prosesnya dapat mentolerir rentang pH 6,5 hingga 8,0. Sehingga dapat dikatakan kondisi pH sampel masih dalam rentang yang ditolerir proses *anaerobic digestion*. Nilai pH akhir sampel mengalami penurunan menjadi 7,2 – 7,6. Menurut Afrian (2017), penurunan pH mengindikasikan adanya aktivitas awal bakteri asidogenesis yang menaikkan kadar keasaman. Menurut Budiyo *dkk.* (2013), apabila *anaerobic digestion* berlangsung pada keadaan normal atau stabil, pH akan secara otomatis berkisar antara 7 – 8,5.

Pada akhir uji BMP juga dilakukan pengukuran kadar air, *total solid* (TS), kadar abu dan *volatile solid* (VS). Pengukuran VS bertujuan untuk mengetahui bahan organik yang tersisa. Hasil pengukuran kadar air, TS, kadar abu, VS setelah uji BMP tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

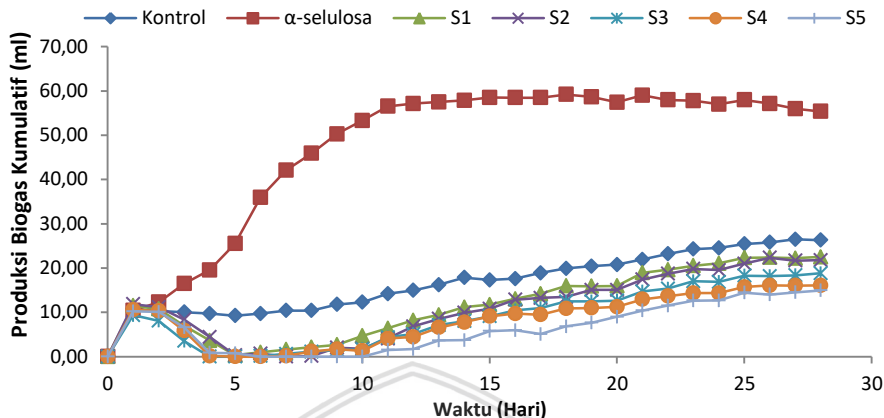
Tabel 4.3. Hasil pengukuran kadar air, TS, kadar abu, VS

No	Sampel	Kadar Air (%WW)	TS (%WW)	Kadar Abu (%WW)	VS (%WW)	VS (%TS)
1.	Kontrol (<i>blank</i>)	96,89	3,11	1,04	2,07	66,56
2.	Kontrol α -selulosa	97,26	2,74	0,90	1,84	67,23
3.	S1 (limbah cair batik 1 ml)	96,92	3,08	1,05	2,03	65,80
4.	S2 (limbah cair batik 2 ml)	96,96	3,04	1,03	2,02	66,08
5.	S3 (limbah cair batik 3 ml)	97,43	2,57	0,88	1,69	65,84
6.	S4 (limbah cair batik 4 ml)	97,54	2,46	0,84	1,62	65,81
7.	S5 (limbah cair batik 5 ml)	97,59	2,41	0,83	1,58	65,66

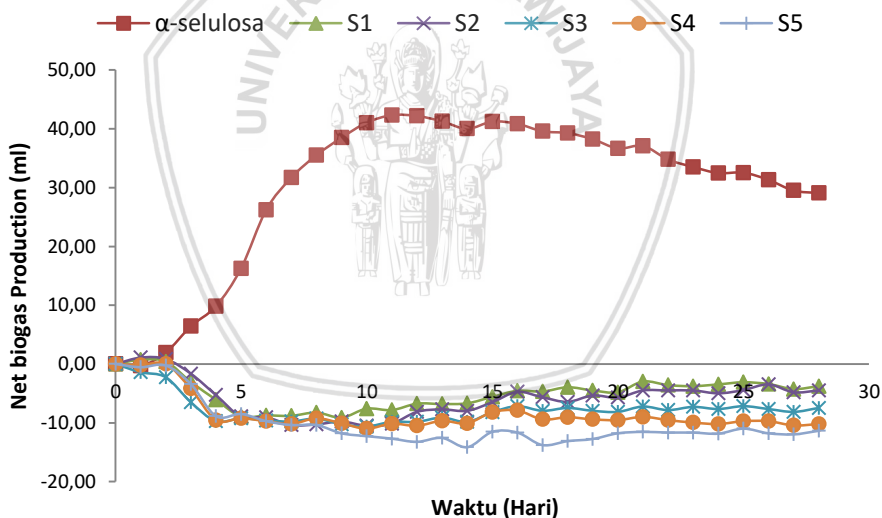
Kandungan VS kontrol inokulum (*blank*) awal yaitu 75,63 %TS. Pada akhir uji BMP, VS kontrol inokulum (*blank*) menurun menjadi 66,56 %TS. Pada sampel perlakuan penambahan limbah cair batik mempunyai nilai VS yang hampir sama dengan kontrol inokulum (*blank*). Nilai VS menunjukkan jumlah bahan organik dan kandungan air dalam bahan (Mujdalipah dkk., 2014). Diartikan bahwa kandungan bahan organik yang terdegradasi pada sampel uji yaitu berasal dari inokulum.

4.3.2 Produksi Biogas

Pada biodegradasi anaerobik dilakukan pengukuran tekanan gas setiap hari yang dihasilkan pada botol sampel. Selanjutnya dilakukan penghitungan volume biogas dengan menggunakan hukum gas ideal sesuai rumus (3.4). Hasil pengukuran tekanan gas dapat dilihat pada **Lampiran 14**. Hasil penghitungan volume biogas kumulatif dapat dilihat pada **Lampiran 15** dan rata-rata volume produksi biogas hanya dari sampel limbah cair batik (*net biogas production*) dapat dilihat pada **Lampiran 16**. Grafik hasil penghitungan volume biogas kumulatif dapat dilihat pada **Gambar 4.4a** dan grafik penghitungan volume biogas hanya dari sampel limbah cair batik (*net biogas production*) dapat dilihat pada **Gambar 4.4b**.



Gambar 4.4a Grafik Produksi Biogas Kumulatif (ml)



Gambar 4.4b Grafik Net Biogas Production (ml)

Grafik volume biogas kumulatif merupakan hasil perhitungan volume biogas yang dihasilkan dari campuran inokulum dan sampel limbah cair batik. Grafik volume biogas dari sampel menunjukkan hasil perhitungan volume biogas yang telah dikurangi dengan kontrol inokulum (*blank*). Berdasarkan

dari **Gambar 4.4b** dapat dilihat bahwa volume biogas yang dihasilkan oleh kontrol inokulum mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan waktu. Volume rata-rata produksi biogas pada kontrol inokulum yaitu 16,57 ml. Pada kontrol α -selulosa, volume rata-rata produksi biogas mengalami peningkatan hingga hari ke 11, lalu cenderung konstan. Volume rata-rata produksi biogas dari kontrol α -selulosa yaitu 29,97 ml.

Volume biogas kumulatif tertinggi dari sampel pada **Gambar 4.4a** yaitu pada perlakuan penambahan limbah cair batik 1 ml (S1) dengan nilai rata-rata 11,61 ml dan terendah yaitu pada penambahan limbah cair batik 5 ml (S5) dengan nilai rata-rata 6,36 ml. Produksi biogas kumulatif pada botol sampel perlakuan mengalami peningkatan mulai hari ke-6 hingga hari ke-28.

Pada **Gambar 4.4b** menunjukkan bahwa tidak terdapat produksi biogas yang dihasilkan dari sampel limbah cair batik (*net biogas production*). Perhitungan volume biogas dari limbah cair batik pada S1, S2, S3, S4, S5 dihasilkan rata-rata volume produksi biogas sebesar -4,96 ml, -5,79 ml, -7,74 ml, -8,48 ml, -10,21 ml. Nilai minus menandakan bahwa produksi biogas pada sampel perlakuan lebih rendah dibandingkan dengan kontrol inokulum (*blank*). Sehingga diduga terdapat penghambat pada proses *anaerobic digestion* dalam botol sampel uji.

Tidak adanya produksi biogas dari sampel diduga karena limbah cair UKM “Batik Blimbing” Malang mengandung logam berat, fenol dari pewarna sintetik, rasio C/N yang tinggi (37986) dan nilai COD yang sangat tinggi (54700 mg/L). Menurut Susilo dkk. (2017), penghambat proses *anaerobic digestion* dapat berasal dari senyawa beracun seperti logam berat yang terdapat pada limbah organik. Menurut Putra dkk. (2016), nilai rasio C/N yang tinggi akan mengakibatkan proses biodegradasi berlangsung lebih lambat karena nitrogen akan menjadi faktor penghambat. Pada penelitian Budiyo dkk. (2013), hasil produksi biogas pada bahan yang mempunyai rasio COD:N 800:7 yaitu 3839 ml, sedangkan pada rasio COD:N 1000:7 hanya menghasilkan 1586 ml. Semakin besar nilai rasio akan menghasilkan biogas semakin sedikit. Pada penelitian Utami *et al.* (2016), produksi gas metan dipengaruhi oleh

kandungan COD, dimana konsentrasi COD 8000 mg/L hanya menghasilkan metana 0,67 L/hari, begitu sebaliknya jika konsentrasi COD berkurang menjadi 3200 mg/L maka akan terjadi peningkatan produksi metana menjadi 4,68 L/hari. Pada penelitian Desiana and Setiadi (2009), sampel *biosludge* dari efluen *textile mill* yang mengandung COD 1040 – 1424 mg/L menghasilkan potensi produksi metan sebesar 62-73%, sedangkan pada konsentrasi COD 10400 – 14240 mg/L hanya menghasilkan potensi produksi metan 4- 8%. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai COD akan mengurangi produksi metan.



V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada hasil pengukuran karakteristik limbah cair UKM “Batik Blimbing” Malang terdapat parameter-parameter yang melebihi ketentuan kadar maksimum peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 yaitu BOD 8651mg/L, COD 54700 mg/L, TSS 1483 mg/L, fenol 0,616 mg/L, minyak dan lemak 4,2 m/L. Tingginya nilai tersebut menunjukkan tingkat pencemaran yang kuat, sehingga perlu dilakukan pengolahan.

Pada biodegradasi aerobik, pengukuran DO terendah yaitu pada sampel perlakuan penambahan limbah cair batik 5 ml dan DO tertinggi pada penambahan limbah cair batik 1 ml. Perhitungan nilai BOD dihasilkan semakin menurun seiring pertambahan lama inkubasi. Penurunan nilai BOD paling besar terjadi pada perlakuan penambahan limbah cair batik 1 senilai 86%. Penurunan nilai BOD paling kecil yaitu perlakuan penambahan limbah cair batik 5 ml senilai 78%. Perhitungan nilai persentase biodegradasi tertinggi yaitu pada perlakuan penambahan limbah cair batik 1 ml, 2 ml, 3 ml dengan nilai 13%, pada perlakuan penambahan limbah cair batik 4 ml dan 5 ml hanya 12% setelah inkubasi 28 hari. Biodegradasi aerobik yang terjadi dikatakan cukup baik karena hanya selisih 2,8% dari persentase biodegradasi teoritis.

Pada biodegradasi anaerobik, menunjukkan adanya faktor penghambat yang terlihat dari tidak adanya produksi biogas dari sampel limbah cair batik (*net production biogas*). Faktor penghambat tersebut diduga karena nilai rasio C/N yang tinggi dan kandungan COD yang sangat tinggi.

5.2 Saran

Penelitian perlu dilakukan *pretreatment* untuk limbah cair batik sebelum diolah secara aerobik maupun anaerobik. *Pretreatment* yang dapat dilakukan yaitu seperti penghilangan zat warna sintetik maupun kandungan logam berat pada limbah cair batik agar aktivitas mikroorganisme pendegradasi dapat optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Akinshina, N., Naka, D., Toderichi, K., Azizov, A., and Yasui, H. 2012. ***Anaerobic Degradation of Halophyte Biomass for Biogas Production***. Journal of Arid Land Studies 22(1): 227-230.
- APHA. 1998. ***Standard Methods for the examination of water and waste water, 20th Edition***. Science and Education Publishing Co. Washington DC.
- APHA. 2005. ***Standard Methods for the examination of water and waste water, 21st Edition***. Science and Education Publishing Co. Washington DC.
- Arief, L. M. 2016. **Pengolahan Limbah Industri, Dasar-Dasar Pengetahuan dan Aplikasi di Tempat Kerja**. ANDI Offset. Yogyakarta.
- Aryani, Y., Sunarto., Widiyani, T. 2004. **Toksisitas Akut Limbah Cair Pabrik Batik CV. Giyant Santoso Surakarta dan Efek Sublethalnya terhadap Struktur Mikroanatomi Branchia dan Hepar Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* T.)**. Jurnal BioSmart 6(2): 147-153.
- Brown, D. M., Hughes, C. B., Spence, M., Bonte, M., and Whale, G. 2018. ***Assessing the Suitability of a Manometric Test System for Determining the Biodegradability of Volatile Hydrocarbons***. Chemosphere 195(2018): 381-389.
- Budiyo. Khaerunnisa, G. dan Rahmawati, I. 2013. **Pengaruh pH dan Rasio COD:N Terhadap Produksi Biogas dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (Ninasse)**. Eksergi Jurnal Prodi Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta 11(1): 1-6
- Calow, P. 1998. ***Handbook of Ecotoxicology***. Blackwell Science Ltd. Oxford.
- Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., and Hassell, D.G. 2009. ***A Review on Anaerobic-Aerobic Treatment of Industrial and Municipal Wastewater***. Chemical Engineering Journal 155(2009): 1-18.

- Cho, J. K., Park, S. C., and Chang, H. N. 1995. **Biochemical Methane Potential and Solid State Anaerobic Digestion of Korean Food Wastes.** Bioresource Technology 52(1995): 245-253.
- Cioabla, A. E., Ionel, I., Dumitrel, G., and Popescu, F. 2012. **Comparative Study on Factors Affecting Anaerobic Digestion of Agricultural Vegetal Residues.** Biotechnology for Biofuels 5(39): 1-9.
- Citrapancayudha, D. R., dan Soetarto, E. S. 2016. **Biodegradasi Residu Wax dari Limbah Industri Batik oleh Bakteri.** Proceeding Biology Education Conference 13(1): 800-806.
- Desiana, D., and Setiadi, T. 2009. **Effect of Ozonation and Sonication on Biochemical Methane Potential of Biosludge from Textile Mill Effluent.** Water, Air and Soil Pollution: Focus 9(2009): 461-467.
- Dioha, I. J., Ikeme, C. H., Nafi'u, T., Soba, N. I. and Yusuf, M. B. S. 2014. **Effect of Carbon to Nitrogen Ratio on Biogas Production.** International Research Journal of Natural Sciences 2(1): 27-36.
- Doraja, P. H., Shovitri, M., dan Kuswytasari, N. D. 2012. **Biodegradasi Limbah Domestik dengan Menggunakan Inokulum Alami dari Tangki Septik.** Jurnal Sains dan Seni ITS 1(1): 44-47.
- OECD. 1992. **OECD Guidelines for Testing Chemicals, Test No. 301: Ready Biodegradability.** Paris
- Fadil, K., Chahlaoui, A., Ouahbi, A., Zaid, A., and Borja, R. 2003. **Aerobic Biodegradation and Detoxification of Wastewaters from the Olive Oil Industry.** International Biodeterioration & Biodegradation 51(2003): 37-41.
- Filosofia. 2011. **Biodegradasi Dispersan Tumpahan Minyak dengan Metode DOC Die-Away dan Metode Botol Tertutup.** Skripsi IPB. Bogor.
- Hadaf, A., Adriani, A., dan Novrita, S. Z. 2016. **Motif dan Pewarnaan Batik Tulis di Dusun Giriloyo Desa Wukirsari Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (Studi Kasus di**

Industri Batik Sri Kuncoro). Jurnal Home Economic and Tourism 11(1): 1-14.

Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W., dan Hendroko, R. 2008. **Teknologi Bioenergi: Biodiesel, Bioetanol, Biogas, Pure Plant Oil, Biobriket dan Bio-Oil.** Agromedia Pustaka. Jakarta.

Hardyanti, I. S., Nurani, I., Hardjono, D. S., Apriliani, E., dan Wibowo, E. A. P. 2017. **Pemanfaatan Silika (SiO₂) dan Bentonit sebagai Adsorben Logam Berat Fe pada Limbah Batik.** Jurnal Sains Terapan 3(2): 37-41.

Hartati, I., Riwayati, I. dan Kurniasari, L. 2011. **Potensi Xanthate Pulpa Kopi sebagai Adsorben pada Pemisahan Ion Timbal dari Limbah Industri Batik.** Jurnal Momentum 7(2): 25-30.

Hidayat, N. 2016. **Bioproses Limbah Cair.** ANDI Offset. Yogyakarta.

Hidayat, N., Wignyanto, Sumarsih, S., dan Putri, A. I. 2016. **Mikologi Industri.** UB Press. Malang.

Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. 2016. **Perkembangan Nilai Produksi Industri Besar dan Sedang Indonesia.** Dilihat 1 Oktober 2017. www.kemenperin.go.id/statistik.

Knight, D. J., and Thomas, M. B. 2003. **Practical Guide to Chemical Safety Testing: Regulatory Consequences – Chemicals, Food Packaging and Medical Devices.** Rapra Technology Limited. Shropshire.

Kurniawan, M. W., Purwanto, P., dan Sudarno, S. 2013. **Strategi Pengelolaan Air Limbah Sentra UMKM Batik yang Berkelanjutan di Kabupaten Sukoharjo.** Jurnal Ilmu Lingkungan 11(2): 62-72.

Laws, E. A. 2018. **Aquatic Pollution An Introductory Text 4th Edition.** John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.

Lestari, P. B., dan Hartati, T. W. 2017. **Mikrobiologi Berbasis Inkuiry.** Penerbit Gunung Samudera. Malang.

Liu, D. H. F., dan Liptak, B. G. 1999. **Environmental Engineers Handbook.** CRC Press. United State.

Liu, C., Yuan, X., Zeng, G., Li, W., and Li, J. 2008. **Prediction of Methane Yield at Optimum pH of Anaerobic**

- Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste.*** Journal of Bioesouce Technology 99(2008): 882-888.
- Mujdalipah, S. Dohong, S., Suryani, A., dan Fitria, A. **Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Digester Dua Tahap Pada Berbagai Konsentrasi Palm Oil-Mill Effluent dan Lumpur Aktif.** Jurnal Agritech 34(1) 56-64
- Muthu, S. S. 2015. ***Environmental Implications of Recycling and Recycled Products.*** Springer Science Business Media. Singapura.
- Natalina dan Firdaus, H. 2017. **Penurunan Kadar Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) dalam Limbah Batik Menggunakan Limbah Udah (Kitosan).** Jurnal Teknik 38(2): 99-102.
- Nurainun, Heiyana, dan Rasyimah. 2008. **Analisis Industri Batik di Indonesia.** Jurnal Fokus Ekonomi 7(3): 124-135.
- Nurdalia, I. 2006. **Kajian dan Analisis Peluang Penerapan Produksi Bersih pada Usaha Kecil Batik Cap (Studi Kasus pada Tiga Usaha Industri Kecil Batik Cap di Pekalongan).** Tesis Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.
- Nurroisah, E., Indarjo, S., dan Wahyuningsih, A. S. 2014. **Keefektifan Aerasi Sistem Tray dan Filtrasi sebagai Penurun Chemical Oxygen Demand dan Padatan Tersuspensi pada Limbah Cair Batik.** Unnes Journal of Public Health 3(4): 56-64.
- Omar, A. F., and Jafri, M. Z. M. 2015. ***Optical System in Measurement of Water Turbidity : Design and Analytical.*** Universiti Sains Malaysia Press. Pulau Pinang Malaysia.
- Palanna, O.G. 2009. ***Engineering Chemistry.*** Tata McGraw Hill Education Private Limited. New Delhi.
- Punmia, B. C., and Jain, A. K. 1998. ***Waste Water Engineering (Including Air Pollution) Second Edition.*** Laxmi Publications. New Delhi.
- Pusat Data Lingkungan. 2014. **Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha**

- Lainnya. Dilihat 6 Februari 2018.
www.pusdaling.jatimprov.go.id.
- Puspita, U. R., Siregar, A. S., dan Hidayati, N. V. 2011. **Kemampuan Tumbuhan Air Sebagai Agen Fitoremediasi Logam Berat Kromium (Cr) yang Terdapat Pada Limbah Cair Industri Batik.** Jurnal Penelitian Berkala Perikanan Terubuk 39(1): 58-64.
- Putra, H. P., Andrio, D., dan Elystia, S. 2016. **Pengaruh Rasio Pencampuran Limbah Cair Tahu dan Kotoran Sapi Terhadap Proses Anaerob.** Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau 3(2): 1-5.
- Riyanto. 2014. **Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.** Deepublish. Yogyakarta.
- Saraswati, Y. W., Haeruddin., Purwann, F. 2014. **Sebaran Spasial dan Temporal Fenol, Kromium dan Minyak di Sekitar Sentra Industri Batik Kabupaten Pekalongan.** Diponegoro Journal of Maquares 3(1): 186-192.
- Sianita, D., dan Nurchayati, I. S. 2009. **Kajian Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Kombinasi Aerob-Anaerob dan Penggunaan Koagulan Tawas.** Universitas Diponegoro. Semarang.
- Silva, C. D., Astals, S., Peces, M., Campos, J. L., and Guerrero, L. 2017. **Biochemical Methane Potential (BMP) Tests; Reducing Test Time by Early Parameter Estimation.** Journal of Waste Management 71(2017): 19-24.
- Sinha, R. K., Bharambe, G., and Bapat, P. 2007. **Removal of High BOD and COD Loadings of Primary Liquid Waste Products From Dairy Industry by Vermi-filtration Technology Using Eartworms.** Indian Journal of Environmental Protection 27(6): 486-501.
- Standar Nasional Indonesia. 2004. **Air dan Air Limbah – Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter.** Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Spellman, F. R., dan Bieber, R. M. 2012. **Environmental Health and Science Ddesk Reference.** Government Institutes. Plymouth.

- Suhartini, S. 2014. ***The Anaerobic Digestion of Sugar Beet Pulp***. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. University of Southampton.
- Sumantri, I., Sumarno, Nugroho, A., Istadi, Buchori, L. 1998. ***Pengolahan Limbah Cair Industri Kecil Batik dengan Bak Anaerobik Bersekat (Anaerobic Baffled Reactor)***. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro. Semarang.
- Sumarko, H. T., Lestari, S., dan Dewi, R. S. 2013. ***Deodorisasi Limbah Cair Batik Menggunakan Limbah *Baglog Plerotus ostreatus* dengan Kombinasi Volume dan Waktu Inkubasi Berbeda***. Jurnal Molekul 8(2) 151-166.
- Suprihatin, H. 2014. ***Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo dan Alternatif Pengolahannya***. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Riau. Riau
- Susanto, E. 2017. ***Angsa Sebagai Ide Dasar Penciptaan Motif Batik Bahan Sandang Busana Remaja Putri untuk Pesta Pernikahan***. Jurnal Pendidikan Seni Kerajinan 6(3): 306:318.
- Susilo, B., Damayanti, R., dan Izza, N. 2017. ***Teknik Bioenergi***. UB Press. Malang.
- Sutterlin, H., Alexy R., Coker, A., and Kummerer, K. 2008. ***Mixtures of Quaternary Ammonium Compounds and Anionic Organic Compounds in the Aquatic Environment: Elimination and Biodegradability in the Closed Bottle Test Monitored by LC-MS/MS***. Chemosphere 72(2008): 497-484.
- Swati, S. S., and Faruqui, A. N. 2018. ***Investigation on Ecological Parameters and COD Minimazation of Textile Effluent Generated After Dyeing with Mono and Bi-Functional Reactive Dyes***. Journal Environmental Technology and Innovation 11(2018): 165-173.
- Syafila, M., Setiadi, T., Mulyadi, A. H., dan Esmiralda. 2007. ***Kajian Biodegradasi Limbah Cair Industri Biodiesel pada kondisi Anaerob dan Aerob***. Prociding ITB Sains & Tek 39 A(1-2): 165-178.

- Utami, I., Redjeki, S., Astuti, D. H., and Sani. 2016. **Biogas Production And Removal COD-BOD and TSS from Wastewater Industrial Alcohol (Vinasse) by Modified UASB Bioreactor.** Bisstech 01005(2016): 1-5.
- Verma, A., Wei, X., and Kusiak, A. 2013. **Predicting The Total Suspended Solids in Wastewater: A Data-mining Approach.** Engineering Applications of Artificial Intelligence 26(2013): 1366-1372.
- Wardani, L. N. K. 2017. **Studi Tentang Penggunaan Canting Listrik pada Proses Pembuatan Batik Blimbing di Kecamatan Blimbing Kota Malang.** Skripsi Jurusan Tata Busana Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang.
- Wijaya, I.P.K., Lestari, W., Ariyanti, N., Pandu, J., Saifuddin, F., Utama, W., dan Bahri, A. S. 2016. **Studi Kelayakan Perangkat CO2 Berdasarkan Analisa Fisik Sedimen (Studi Kasus: Formasi Kabuh, Cekungan Jawa Timur Utara).** IPTEK Journal of Proceedings Series 2(2018): 227-231.
- Wirosoedarmo, R., Haji, A. T. S., dan Hidayati, E. A. 2016. **Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Kontak pada Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Karbon Aktif Tongkol Jagung untuk Menurunkan BOD dan COD.** Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan 3(2): 30-37.
- Yakoob, M. A., M.Radin, R. M. S., Al-Gheethi, A. A. S., and Kassim, A. H. M. 2018. **Characteristics of Chicken Slaughterhouse Wastewater.** Chemical Engineering Transaction 63(2018): 637- 642.
- Yang, Q., Liu, Z., and Yang, J. 2009. **Simultaneous Determination of Chemical Oxygen Demand (COD) and Biological Oxygen Demand (BOD5) in Wastewater by Near-Infrared Spectrometry.** Journal of Water Resource and Protection 4. 286-289.
- Yulianti, D., Winarno, K., dan Mudyantini, W. 2005. **Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Karet PTPN IX Kebun Batu Jamus Karanganyar Hasil Fitoremediasi dengan *Azolla microphylla* Kaulf untuk Pertumbuhan Tanaman Padi (*Oryza sativa* Linn.).** Jurnal BioSmart 7(2): 125-130.

